



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

# **PROSES FENTON PADA PENGOLAHAN LINDI TPA NGIPIK, GRESIK**

**ISNA NUFUSSILMA TAMAS**  
**3313100023**

**Dosen Pembimbing**  
**Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**









**TUGAS AKHIR - RE 141581**

# **PROSES FENTON PADA PENGOLAHAN LINDI TPA NGIPIK, GRESIK**

**ISNA NUFUSSILMA TAMAS**  
**3313100023**

**DOSEN PEMBIMBING**  
**Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**











**FINAL PROJECT - RE 141581**

# **FENTON PROCESS IN LEACHATE TREATMENT TPA NGIPIK, GRESIK**

**ISNA NUFUSSILMA TAMAS**  
**3313100023**

**SUPERVISOR**  
**Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**  
**Faculty of Civil Engineering and Planning**  
**Institute of Technology Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**



## HALAMAN PENGESAHAN

### PROSES FENTON PADA PENGOLAHAN LINDI TPA NGIPIK, GRESIK

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ISNA NUFUSSILMA TAMAS**  
NRP. 3313100023

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D  
NIP. 19820804 200501 1 001



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Proses Fenton pada Pengolahan Lindi TPA Ngipik, Gresik” ini dengan tepat waktu. Tugas akhir ini dibuat guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik di Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS.

Dengan selesainya tugas akhir ini, tidak lupa penulis sampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu kelancaran penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah mengajar dan membimbing dengan penuh kesabaran.
2. Ibu IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D., Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc., dan Bapak Alfian Purnomo, S.T., M.T., selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan masukan dan bimbingannya.
3. Pemerintah Kabupaten Gresik.
4. Pengelola TPA Ngipik, Kabupaten Gresik.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan, karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## PROSES FENTON PADA PENGOLAHAN LINDI TPA NGIPIK, GRESIK

Nama Mahasiswa : Isna Nufussilma Tamas  
NRP : 3313100023  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T.,  
M.Phil., Ph.D

### ABSTRAK

Lindi merupakan cairan yang dihasilkan dari infiltrasi air hujan melewati sampah sehingga terjadi proses biokimia di dalam sampah dan kandungan air dari sampah yang umumnya memiliki kandungan senyawa organik yang tinggi. Tingginya senyawa organik pada lindi dapat mencemari lingkungan sekitar apabila tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan lindi dapat dilakukan secara biologis, fisik, kimia, maupun fisik-kimia. Dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan lindi secara kimia dengan salah satu pengolahan lindi yaitu proses Fenton yang dijadikan sebagai salah satu alternatif pengolahan lindi. Penelitian dilakukan menggunakan proses Fenton ( $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) yang memiliki tujuan untuk menentukan efisiensi pengolahan lindi dengan metode Fenton tanpa dan dengan adanya penambahan NaCl serta menentukan penurunan residual hidrogen peroksida dan besi dengan netralisasi.

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan memvariasikan konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  pada proses Fenton, selama 240 menit waktu pengolahan. Waktu pengolahan ditentukan pada dasar lamanya waktu yang diperlukan untuk menurunkan COD awal hingga mencapai nilai baku mutu PermenLHK No. 59 Tahun 2016 yaitu 300 mg/L. Variasi rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$  yang dilakukan pada penelitian ini yaitu 1:1; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20 dengan variasi pH 3, 4, dan pH asli dari lindi yaitu 8.14. Penelitian menggunakan reaktor berupa *beaker glass* dengan volume 2 Liter. Pengoperasian reaktor, menggunakan *magnetic stirrer* yang berfungsi untuk mengaduk sehingga larutan menjadi homogen. Proses Fenton dilakukan pada reaktor tertutup tanpa adanya

pengaruh cahaya (*dark Fenton*), di mana reaktor dilapisi dengan menggunakan *aluminium foil*. Parameter yang diuji adalah pH, COD, klorida ( $\text{Cl}^-$ ), konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang tersisa setelah proses, dan analisis besi (Fe). Sedangkan analisis BOD diukur di akhir percobaan (menit ke 240) sebagai  $\text{BOD}_5$  effluent pengolahan. Netralisasi residual  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan besi menggunakan penambahan NaOH sebagai adjustment pH hasil pengolahan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa removal COD lindi yang dihasilkan menggunakan Fenton yaitu 86%, 89%, dan 89% pada pengolahan tanpa penambahan NaCl, dan 86%, 88%, dan 88% dengan penambahan NaCl dengan pH asli, 3 dan 4 serta  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  rata-rata yaitu 0,33. Adapun penurunan residual besi dan hidrogen peroksida mencapai 55% dan 99% pada pH *adjustment* 9. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penambahan rasio molar 1:1 dan 1:5 dapat mencapai baku mutu lindi (300 mg/L) dengan removal COD lindi maksimum yang dihasilkan 89% pada rasio molar 1:1 tanpa penambahan NaCl.

**Kata Kunci:** *Besi, COD, Fenton,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , Lindi*



## **FENTON PROCESS IN LEACHATE TREATMENT TPA NGIPIK, GRESIK**

Name of Student : Isna Nufussilma Tamas  
NRP : 3313100023  
Study Programme : Environmental Engineering  
Supervisor : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T.,  
M.Phil., Ph.D

### **ABSTRACT**

Leachate is liquid from infiltration of rainwater that pass through waste resulting biochemical process in waste and water content of the waste. The water content of waste have a high organic compound. High content of organic compound in leachate can pollute the environment if there isn't treatment beforhand. Types of leachate treatment is biological, physical, chemical, and physical-chemical. In this research, leachate treatment is done chemically (chemical treatment) by Fenton method which one of alternative treatment of leachate. The study was conducted using a Fenton ( $\text{Fe}^{2+}$  /  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) process which aims to determine leachate treatment efficiency by Fenton method without and with the addition of NaCl and to determine the residual decrease of hydrogen peroxide and iron by neutralization.

This research carried out in laboratory scale by varying the concentration of  $\text{H}_2\text{O}_2$  in Fenton process, during the treatment time. Treatment time is determined on the basis of the length of time required to reduce the initial COD until it reaches the quality standard of PermenLHK No. 59 of 2016 is 300 mg/L. Variation molar ratio  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$  in this research is 1:1; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20 and pH variation is 3, 4, and the original pH of leachate is 8.14. The treatment using beaker glass as reactor with volume of 2 litre. The operation of the reactor using magnetic stirrer that have function to stir, so the solution becomes homogeneous. Fenton process performed in a closed reactor without the influence of light (dark Fenton), which the reactor is coated with aluminum foil. The parameters tested is pH, COD, chloride ( $\text{Cl}^-$ ),  $\text{H}_2\text{O}_2$  and iron remaining. While BOD analysis measured at the

end of the experiment as BOD<sub>5</sub> effluent treatment. The residual neutralization of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and iron using the addition of NaOH as the adjustment of pH treatment.

The results showed that the removal of COD leachate produced by Fenton was 86%, 89%, and 89% in the treatment without NaCl addition, and 86%, 88%, and 88% with the addition of NaCl and BOD<sub>5</sub>/COD averages of 0.33. The decrease of residual iron and hydrogen peroxide reached 55% and 99% at pH adjustment 9. In this research it can be concluded that the addition of molar ratio of 1:1 and 1:5 can reach leachate standard (300 mg/L) with maximum removal of COD leachate was 89% at a 1:1 molar ratio without the addition of NaCl.

**Keywords : COD, Fenton, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Iron, Leachate**

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Ruang Lingkup .....	3
1.5 Manfaat .....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Definisi Lindi .....	5
2.1.1 Kualitas dan Kuantitas Lindi .....	5
2.2 Pengolahan Lindi .....	7
2.3 Metode Fenton .....	11
2.3.1 Proses Fenton dan <i>Photo</i> -Fenton .....	13
2.3.2 Faktor yang Mempengaruhi Metode Fenton .....	14
2.4 Katalis Proses Fenton .....	16
2.5 Residu Proses Fenton .....	17
2.6 Hidrogen Peroksida ( $H_2O_2$ ) .....	18
2.6.1 Dekomposisi Hidrogen Peroksida .....	18
2.7 Netralisasi Residu Proses Fenton .....	19
2.8 Penelitian Terdahulu .....	20
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	23
3.1 Kerangka Penelitian .....	23
3.2 Ide Tugas Akhir .....	23
3.3 Studi Literatur .....	24
3.4 Persiapan Penelitian .....	25
3.5 Pengolahan Lindi dengan Proses Fenton .....	30
3.6 Penambahan NaCl dalam Proses Pengolahan .....	33
3.7 Pengolahan Residu Fenton dengan Netralisasi .....	35
3.8 Analisis Parameter .....	36

3.9 Hasil dan Pembahasan .....	37
3.10 Kesimpulan dan Saran .....	38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	39
4.1 Penelitian Pendahuluan .....	39
4.2 Proses Fenton pada Lindi .....	50
4.3 Proses Netralisasi Residu Fenton .....	64
BAB 5 PENUTUP .....	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran .....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
BIOGRAFI PENULIS .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses <i>Photo</i> -Fenton .....	13
Gambar 2.2 Perbedaan Proses Fenton dan <i>Photo</i> -Fenton .....	14
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian .....	24
Gambar 3.2 Reaktor Penelitian Fenton .....	26
Gambar 3.3 Reaktor Penelitian Netralisasi .....	27
Gambar 3.4 Tahap Penentuan Waktu dan pH Netralisasi .....	30
Gambar 3.5 Tahap Proses Fenton dalam Pengolahan Lindi .....	35
Gambar 3.6 Gambaran Netralisasi Residu Fenton .....	36
Gambar 4.1 Penurunan COD Lindi pH Asli tanpa NaCl .....	40
Gambar 4.2 Penurunan COD Lindi pH 3 tanpa NaCl .....	41
Gambar 4. 3 Penurunan COD Lindi pH 4 tanpa NaCl .....	42
Gambar 4. 4 Penurunan COD Lindi pH Asli dengan NaCl .....	43
Gambar 4. 5 Penurunan COD Lindi pH 3 dengan NaCl .....	44
Gambar 4. 6 Penurunan COD Lindi pH 4 dengan NaCl .....	45
Gambar 4.7 Residu Fenton pH Asli Tanpa NaCl .....	46
Gambar 4.8 Residu Fenton pH 3 Tanpa NaCl .....	47
Gambar 4.9 Residu Fenton pH 4 Tanpa NaCl .....	47
Gambar 4.10 Residu Fenton pH Asli Dengan NaCl .....	48
Gambar 4.11 Residu Fenton pH 3 Dengan NaCl .....	48
Gambar 4.12 Residu Fenton pH 4 Dengan NaCl .....	49
Gambar 4.13 Lindi Pengolahan Rasio 1:1 pH 3 Dengan NaCl ..	50
Gambar 4.14 Lindi Pengolahan Rasio 1:20 pH 3 Dengan NaCl ..	50
Gambar 4.15 pH Lindi pada Pengolahan pH Asli Tanpa NaCl ..	52
Gambar 4.16 pH Lindi pada Pengolahan pH 3 Tanpa NaCl .....	53
Gambar 4.17 pH Lindi pada Pengolahan pH 4 Tanpa NaCl .....	54
Gambar 4.18 pH Lindi pada Pengolahan pH Asli Dengan NaCl ..	54
Gambar 4.19 pH Lindi pada Pengolahan pH 3 Dengan NaCl .....	55
Gambar 4.20 pH Lindi pada Pengolahan pH 4 Dengan NaCl .....	55
Gambar 4.21 BOD <sub>5</sub> /COD pH Asli Tanpa NaCl .....	56
Gambar 4.22 BOD <sub>5</sub> /COD pH 3 Tanpa NaCl .....	57
Gambar 4.23 BOD <sub>5</sub> /COD pH 4 Tanpa NaCl .....	58
Gambar 4.24 BOD <sub>5</sub> /COD pH Asli Dengan NaCl .....	59
Gambar 4.25 BOD <sub>5</sub> /COD pH 3 Dengan NaCl .....	59
Gambar 4.26 BOD <sub>5</sub> /COD pH 4 Dengan NaCl .....	60
Gambar 4.27 Klorida terhadap COD pH Asli Tanpa NaCl .....	61
Gambar 4.28 Klorida terhadap COD pH 3 Tanpa NaCl .....	62

Gambar 4.29 Klorida terhadap COD pH 4 Tanpa NaCl.....	62
Gambar 4.30 Klorida terhadap COD pH Asli Dengan NaCl .....	63
Gambar 4.31 Klorida terhadap COD pH 3 Dengan NaCl .....	63
Gambar 4.32 Klorida terhadap COD pH 4 Dengan NaCl .....	64
Gambar 4.33 Netralisasi Residu Fenton pH asli Tanpa NaCl ....	65
Gambar 4.34 Netralisasi Residu Fenton pH 3 Tanpa NaCl .....	66
Gambar 4.35 Netralisasi Residu Fenton pH 4 Tanpa NaCl .....	66
Gambar 4.36 Netralisasi Residu Fenton pH Asli Dengan NaCl..	67
Gambar 4.37 Netralisasi Residu Fenton pH 3 Dengan NaCl .....	67
Gambar 4.38 Netralisasi Residu Fenton pH 4 Dengan NaCl .....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakterisasi Lindi .....	6
Tabel 2.2 Baku Mutu Lindi.....	7
Tabel 2.3 Kelebihan dan Kekurangan Proses Pengolahan Lindi..	7
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu .....	20
Tabel 3.1 Hasil Karakterisasi Lindi .....	28
Tabel 3.2 Pengambilan Sampel tiap Analisis .....	32
Tabel 3.3 Variasi Rasio Molar $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$ .....	33
Tabel 3.4 Variasi Penambahan NaCl .....	34
Tabel 3.5 Variasi Penelitian 1 Tanpa Penambahan NaCl.....	34
Tabel 3.6 Variasi Penelitian 1 Penambahan 1 gram NaCl.....	34
Tabel 3.7 Variasi Penelitian 2.....	35

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Prosedur Analisis Laboratorium .....	78
Lampiran 2 Prosedur Pengaturan pH.....	87
Lampiran 3 Prosedur Pembuatan Reagen Fenton .....	89
Lampiran 4 Prosedur Pembuatan Kurva Kalibrasi .....	91
Lampiran 5 Rekapitulasi Data Proses Fenton.....	93
Lampiran 6 Rekapitulasi Data Proses Netralisasi .....	109

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) adalah tempat atau lokasi pemrosesan terakhir sampah yang dihasilkan oleh suatu daerah, terutama perkotaan yang mempunyai ketersediaan lahan yang terbatas. *Sanitary landfill* adalah sistem pengelolaan sampah yang mengembangkan lahan cekungan dengan syarat tertentu yaitu jenis dan porositas tanah, dimana pada dasar cekungan dilapisi geotekstil untuk menahan peresapan lindi pada tanah serta dilengkapi dengan saluran lindi.

Lindi dapat merembes ke dalam tanah dan bercampur dengan air tanah, ataupun mengalir di permukaan tanah dan bermuara pada aliran air sungai. Kemampuan lindi mencemari air permukaan/air tanah dipengaruhi oleh kondisi geologi (tipe tanah dan jenis batuan) serta kondisi hidrologi (kedalaman dan pergerakan air tanah, jumlah curah hujan serta pengendalian aliran permukaan) dimana lokasi TPA berada (Maramis, 2008). Lindi yang dihasilkan di TPA membutuhkan kontrol dan perlakuan. Lindi ditandai dengan nilai-nilai yang tinggi pada COD, pH, nitrogen amonia dan logam berat, serta warna yang kuat dan bau. Selain itu, BOD dan salinitas lindi juga merupakan karakteristik yang melekat pada lindi. Salinitas lindi dapat berasal dari jenis sampah yang terdegradasi yang merupakan kadar garam terlarut dalam air (Sudibyo dan Warmadewanthi, 2011).

Karakteristik lindi juga bervariasi berkaitan dengan komposisi dan volume, dan materi *biodegradable*. Semua faktor ini membuat pengolahan lindi sulit dan rumit. Metode yang saat ini digunakan untuk mengolah lindi dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu pengolahan biologis dan pengolahan fisik-kimia. Pengolahan secara biologis yang biasa digunakan yaitu *Aerated Lagoon*, *Constructed Wetland* (CW), *Rotating Biological Contactors* (RBC), *Trickling Filters* (TF), *Sequencing Bed Reactor* (SBR), *Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), *Moving Bed Bioreactor* (MBBR). Salah satu kekurangan dari pengolahan biologi yaitu membutuhkan lahan yang luas (Wu *et al.*, 2004). Karena lindi merupakan limbah yang sulit untuk secara langsung

diolah secara biologi, maka dapat dilakukan pengolahan secara fisik-kimia (Cortez *et al.*, 2010; Mahmud *et al.*, 2012). Pengolahan secara fisik-kimia berupa Koagulasi-Flokulasi, Fenton, *Ozonation*, *Air Stripping*, *Electrochemical Process*, dan lain-lain.

Alternatif lain yang digunakan untuk mengolah lindi yaitu menggunakan Teknologi Oksidasi Kimia Lanjut (Advanced Oxidation Process – AOPs). Teknologi AOPs berbasis pada proses oksidasi terhadap kontaminan oleh oksidator kuat seperti *Hydroxyl Radical* menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Keunggulan dari teknologi AOPs adalah mendegradasi senyawa toksik dan komponen organik *non-biodegradable*. Salah satu metode teknologi AOPs yang mampu menghasilkan oksidator *hydroxyl radical* yaitu metode Fenton. Reagen Fenton, campuran garam Fe dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ , dengan sistem oksidatif di mana memproduksi OH radikal. Meskipun Fenton efisien untuk oksidasi, beberapa senyawa organik sulit dalam pengolahan menggunakan Fenton. Menurut Umar *et al.* (1999), rasio molar reagen Fenton yang sesuai dan pH awal merupakan dua faktor yang paling penting untuk mencapai kinerja removal COD maksimum. Selain itu, reagen Fenton mudah dalam handling, mudah diterapkan, tidak memerlukan energi untuk mengaktivasi hidrogen peroksida, dan memiliki waktu reaksi yang singkat dibandingkan dengan teknologi AOPs lainnya (Yonar *et al.*, 2011).

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam mencapai efisiensi degradasi lindi yang optimal dengan menggunakan metode Fenton yaitu konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$ , konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$ , waktu kontak, dan pH (Kang *et al.*, 2000). Dalam aplikasi metode Fenton, diperlukan penentuan dosis reagen dan waktu reaksi yang optimum agar mencapai efisiensi pengolahan yang maksimum dengan biaya operasional yang efisien dan terjangkau. Dalam proses Fenton terdapat residu  $\text{Fe}^{2+}$  maupun  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Residu besi dan hidrogen peroksida yang masih terkandung dalam effluen membutuhkan pengolahan lanjutan agar tidak membahayakan lingkungan saat dibuang ke badan air, sehingga dibutuhkan proses netralisasi.

Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan pengaruh dengan metode oksidasi Fenton terhadap efisiensi pengolahan lindi dan penentuan parameter proses pengolahan untuk menghasilkan efisiensi pengolahan yang maksimal.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari perencanaan ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana efisiensi pengolahan lindi dengan Metode Fenton berdasarkan penurunan konsentrasi BOD, COD, rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$  dan pH serta perubahan nilai BOD/COD yang terjadi?
2. Bagaimana efisiensi pengolahan dengan adanya penambahan NaCl?
3. Bagaimana penurunan residual  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan besi dengan metode netralisasi?

## **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan efisiensi pengolahan lindi dengan Metode Fenton berdasarkan pengaruh rasio molar dan pH.
2. Menentukan efisiensi pengolahan dengan adanya penambahan NaCl.
3. Menentukan penurunan residual  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan besi dengan metode netralisasi.

## **1.4 Ruang Lingkup**

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Obyek yang diteliti adalah lindi yang berasal dari TPA Ngipik, Gresik.
2. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Departemen Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
3. Waktu penelitian dilakukan pada Desember 2016 – Juni 2017.
4. Parameter limbah yang diteliti BOD, COD,  $\text{Cl}^-$ , residu besi, dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ .
5. Variasi rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$  yang diteliti 1:1; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20
6. Variasi pH pada penelitian ini 3, 4, dan pH asli.

7. Kecepatan pengadukan selama proses Fenton yaitu 200 rpm, dengan waktu pengadukan maksimal 240 menit, dengan rincian waktu menit ke 0, 20, 40, 60, 90, 120, 180, dan 240.
8. Output dari penelitian ini adalah mendapatkan efisiensi pengolahan lindi dengan menggunakan metode Fenton dan faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses tersebut.

## **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai pengolahan lindi dengan Metode Fenton dan Metode Netralisasi sebagai *post treatment* pengolahan Fenton dalam mengolah residu besi dan hidrogen peroksida. Penelitian ini sebagai studi awal mengenai alternatif pengolahan lindi dalam penerapan skala lapangan.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi Lindi**

Lindi adalah effluent yang berupa cairan yang dihasilkan dari infiltrasi air hujan melewati sampah, proses biokimia di dalam sampah dan kandungan air dari sampah. Infiltrasi air hujan ini akan mengekstrak, melarutkan, dan membantu dekomposisi sampah. Oleh karena itu lindi merupakan campuran yang kompleks yang terdiri dari bahan-bahan organik terlarut dan kontaminan-kontaminan anorganik. Komposisi dan konsentrasi kontaminan– kontaminan tersebut tergantung pada karakteristik dari sampah yang ditimbun, kondisi lokasi, iklim, durasi air yang terinfiltrasi, pH, tingkat pemadatan sampah, dan lain-lain (Renou et al., 2008 dalam Li et al., 2010). Pada umumnya, lindi memiliki kandungan COD yang tinggi dan berbagai jenis logam berat, sehingga keberadaannya lindi berpotensi mencemari lingkungan terutama air dan tanah (Notodarmojo, 2005). Kandungan COD pada lindi lebih tinggi jika dibandingkan dengan limbah domestik, dengan *range* sekitar 66 – 11.600 mg/L (Lisk dalam Young et al., 1995).

##### **2.1.1 Kualitas dan Kuantitas Lindi**

Kualitas dan kuantitas lindi sangat bervariasi dan fluktuasinya secara langsung berkaitan dengan banyaknya curah hujan, komposisi atau karakteristik sampah, umur timbunan, dan pola operasional di TPA. Pengaruh lindi yang dirasakan masyarakat adalah adanya perubahan warna pada badan air atau keberadaan lindi yang mengandung zat organik dan bahan terlarut lainnya. Kualitas lindi dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor meliputi :

- a. Komposisi material sampah padat
  - b. Musim
  - c. Temperatur dan kelembaban
  - d. Teknis operasional pengelolaan lindi
  - e. Umur timbunan atau umur TPA
- (Riansyah dan Wesen, 2010)

Karakteristik lindi diukur bertujuan untuk mengetahui seberapa besar beban pencemaran yang ada dalam lindi tersebut. Parameter untuk karakteristik lindi meliputi parameter pH, warna, kekeruhan, TSS (Total Suspended Solid), VSS (Volatile Suspended Solid), COD (Chemical Oxygen Demand), BOD<sub>5</sub> (Biochemical Oxygen Demand), TKN (Total Kjeldahl Nitrogen), NH<sub>3</sub>-N (ammonia-nitrogen), NO<sub>3</sub>-N (nitrat-nitrogen), NO<sub>2</sub>-N (nitrit-nitrogen), PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (fosfat), fenol, dan logam (Zn, Cu, Mn, Cr, Pb dan Fe), dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Karakterisasi Lindi

Parameter	Satuan	Kisaran Konsentrasi
pH	-	6,2 – 7,4
COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> )	mg/L	66 – 11.600
BOD ( <i>Biological Oxygen Demand</i> )	mg/L	< 2 – 8.000
TOC ( <i>Total Organic Carbon</i> )	mg/L	21 – 4.400
Amoniak	mg/L	5 – 30
Nitrat	mg/L	< 0,2 – 4,9
Nitrogen organik	mg/L	ND – 155
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/L	< 0,02 – 3,4
Cl <sup>-</sup>	mg/L	70 – 2.777
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	55 – 456
Na	mg/L	43 – 2.500
Mg	mg/L	12 – 480
K	mg/L	20 – 50
Ca	mg/L	165 – 1.150
Cr	mg/L	< 0,05 – 0,14
Mn	mg/L	0,32 – 26,5
Fe	mg/L	0,09 – 380
Ni	mg/L	< 0,05 – 0,16
Cu	mg/L	< 0,01 – 0,15
Zn	mg/L	< 0,05 – 0,95
Cd	mg/L	< 0,005 – 0,01
Pd	mg/L	< 0,05 – 0,22

Sumber : Young *et al.*, 1995

ND = *not detectable*

Lindi mengandung bahan organik, bahan anorganik dan bakteri patogen (Garnasih, 2009). Sedangkan bakteri patogen yang umumnya diindikasikan oleh nilai *E. coli* juga terdapat pada lindi. Kandungan tersebut dapat membahayakan lingkungan



maupun makhluk hidup sehingga diperlukan baku mutu sehingga dapat membatasi kadar dari lindi. Kadar maksimum parameter lindi menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Baku Mutu Lindi

Parameter	Kadar Maksimum	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N Total	60	mg/L
Merkuri	0,005	mg/L
Kadmium	0,1	mg/L

Sumber : PermenLHK No. 59 Tahun 2016

## 2.2 Pengolahan Lindi

Pengolahan lindi terdiri dari pengolahan biologis, fisik, maupun kimia. Pengolahan tersebut dalam aplikasinya memiliki kelebihan dan kekurangan. Pemilihan teknologi pengolahan harus mempertimbangkan faktor tersebut sehingga diperoleh teknologi pengolahan yang tepat. Pada Tabel 2.3 disajikan beberapa keunggulan dan kelemahan dari beberapa proses pengolahan lindi yang telah dilakukan sebelumnya.

Tabel 2.3 Kelebihan dan Kekurangan Proses Pengolahan Lindi

Proses	Keunggulan	Kelemahan	Sumber
<b>Pengolahan Biologis</b>			
<i>Aerated Lagoon</i>	Removal COD pada aerated lagoon mencapai 90%	Membutuhkan area yang luas.	(Frasconi <i>et al.</i> , 2004)
<i>Constructed Wetland (CW)</i>	Bisa diaplikasikan pada area yang tidak luas.	Membutuhkan pengolahan lain untuk menghasilkan	(Hadiwidodo <i>et al.</i> , 2012)

Proses	Keunggulan	Kelemahan	Sumber
		removal COD yang tinggi (>50%)	
<i>Trickling Filters</i> (TF)	Removal COD mencapai 49% tanpa penambahan zat kimia	Tidak bisa diaplikasikan pada lindi yang memiliki konsentrasi organik tinggi (pada <i>young leachate</i> ), hanya cocok diaplikasikan pada <i>old leachate</i> .	(Aluko and Sridhar, 2013)
<i>Sequencing Bed Reactor</i> (SBR)	Bisa diaplikasikan pada <i>young leachate</i> maupun <i>old leachate</i> .	Membutuhkan suhu yang sesuai (30-45°C) dalam menentukan efisiensi removal.	(Aluko and Sridhar, 2013)
<i>Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket</i> (UASB)	Efektif dalam removal COD 85-90%.	Jarang diaplikasikan pada landfill, membutuhkan energi yang banyak untuk ventilasi gelembung, dan membutuhkan area yang luas.	(Lin <i>et al.</i> , 2000)
<i>Moving Bed Bioreactor</i> (MBBR)	Tidak membutuhkan area yang luas dan volume reaktor yang digunakan kecil.	Removal COD yang dihasilkan hanya 20%, sehingga kurang efektif dalam mengolah lindi.	(Loukidou <i>et al.</i> , 2001)
<i>Membrane Biological Reactor</i> (MBR)	Bisa diaplikasikan pada <i>young leachate</i> maupun <i>old</i>	Membutuhkan suhu yang sesuai (30-45°C) dalam menentukan efisiensi removal.	(Hashisho <i>et al.</i> , 2016)

Proses	Keunggulan	Kelemahan	Sumber
	<i>leachate</i> .		
<b>Pengolahan Fisik-Kimia</b>			
Koagulasi-Flokulasi	Efektif dalam SS removal, mencapai 90% karena adanya koagulan.	Nilai removal COD hanya 25%-38%, sehingga kurang efektif dalam mengolah lindi, serta waktu pengolahan cukup lama.	(Assou <i>et al.</i> , 2014)
Fenton	Dapat meremoval COD 78% hingga 89% dengan waktu yang singkat.	Sebelum pengolahan diperlukan penyaringan agar tidak ada suspensi yang mengganggu.	(Koc and Lukasz, 2015)
Ozonation	COD removal yaitu 72% dengan BOD <sub>5</sub> /COD meningkat dari 0,01 menjadi 0,24.	Hanya bisa diaplikasikan pada <i>old leachate</i> .	(Cortez <i>et al.</i> , 2011)
Membran Filtration	Flexibel untuk pengolahan lindi dari <i>old leachate</i> maupun <i>young leachate</i> , selain itu sangat efisien dalam pengolahan lindi terkait COD, SS, dan removal organik.	Membutuhkan energi yang tinggi karena membran yang digunakan membutuhkan <i>pressure</i> yang tinggi (50-60 bar)	(Ameen <i>et al.</i> , 2011)
Air Stripping	Efektif dalam removal ammonia mencapai 99,5%.	Hanya bisa diaplikasikan pada <i>old leachate</i> dan membutuhkan	(Marttinen <i>et al.</i> , 2002) (Ozturk <i>et al.</i> , 2003) (Silva <i>et al.</i> ,

Proses	Keunggulan	Kelemahan	Sumber
		waktu yang lama dan pH yang sesuai dalam pengolahannya untuk menghasilkan removal yang tinggi. Kurang efektif dalam meremoval COD,	2004)
<i>Adsorption with Activated Carbon</i>	Efektif dalam pengolahan lindi dengan removal COD mencapai 85%-90%.	Terbatas pada Negara maju karena membutuhkan biaya yang tinggi.	(Ching <i>et al.</i> , 2011) (Kurniawan <i>et al.</i> , 2006)
<i>Chemical Presipitation</i>	Removal COD mencapai 50% dan removal <i>heavy metal</i> sekitar 92-100%.	Menghasilkan banyak lumpur dari proses pengolahan.	(Fu and Wang, 2011) (Ozturk <i>et al.</i> , 2003)
<i>Ion Exchange</i>	Ramah lingkungan karena lumpur yang dihasilkan tidak banyak dan tidak membutuhkan energi yang banyak ( <i>low cost energy</i> )	Tidak efektif dalam meremoval COD lindi.	(Bashir <i>et al.</i> , 2010)
<i>Electrochemical Process</i>	COD removal 40-70% dengan nitrogen removal 10-25%.	Membutuhkan energi yang tinggi sehingga membutuhkan biaya yang tinggi pula.	(Fernandes <i>et al.</i> , 2015)
<b>Kombinasi Pengolahan Fisik-Kimia dan Biologis</b>			
<i>Sequencing Batch Biofilter Granular</i>	Bisa mendegradasi karbon dan	Menghasilkan residu yang tinggi pada effluent	(Moro <i>et al.</i> , 2016)

Proses	Keunggulan	Kelemahan	Sumber
<i>Reactor (SBBGR) – Electrochemical Oxidation (EO)</i>	nitrogen dari <i>raw leachate</i> (BOD/COD = 0,2).	(2050 mg/L).	
<i>Photo Electro Fenton (PEF) – Membrane Bioreactors (MBR)</i>	Residu yang dihasilkan diolah langsung secara biologis menggunakan MBR sehingga rendah dan efisiensi removal bisa mencapai 100%.	Hanya bisa mendegradasi polutan organik yang berasal <i>old leachate</i> (BOD/COD = 0,19)	(Nivya and Pieus, 2016)
<i>Fenton – Aerated Biomass</i>	Mendegradasi polutan organik yang berasal <i>medium-old leachate</i> (BOD/COD = 0,16-0,27).	Residu yang dihasilkan menghasilkan bau dan tidak bisa diaplikasikan pada <i>high leachate streams</i> .	(Ismail and Tawfik 2016)

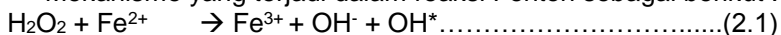
### 2.3 Metode Fenton

Metode Fenton adalah salah satu dari teknologi oksidasi kimia lanjut (*Advanced Oxidation Process – AOPs*). Reaksi Fenton ini ditemukan oleh H.J.H. Fenton pada tahun 1894 dalam penelitiannya yang menyatakan bahwa  $H_2O_2$  dapat diaktivasi oleh  $[Fe^{2+}]$  untuk mengoksidasi asam tartaric. Proses Fenton terjadi dari reaksi antara hidrogen peroksida dengan ion besi menghasilkan *hydroxyl radical* yang dapat mengoksidasi senyawa organik maupun inorganik (Babuponnusami and Muthukumar, 2014).

*Hydroxyl radical* diketahui sebagai spesies kimia yang paling reaktif kedua setelah atom fluor, dengan daya oksidasi 2,8 V (Fluorine = 3,03) (Weast, 1977). Reagen Fenton merupakan larutan yang berisi campuran hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) dan katalis garam besi [II] pada pH asam, digunakan dalam proses

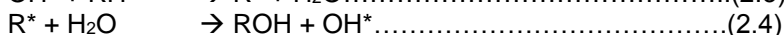
Fenton sebagai sumber radikal hidroksil (HO•). Penggunaan reagen Fenton di dalam proses dibuat atas perbandingan berat antara hidrogen peroksida dan garam besi [II]. Garam besi [II] yang diperlukan adalah seperduapuluh sampai seperlima bagian berat hidrogen peroksida (Watt, 1998). Proses Fenton didasarkan pada perpindahan electron H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan aktivitas Fe<sup>2+</sup> sebagai katalis homogen. Proses oksidasinya didasarkan pada campuran hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) dan garam besi (Fe[II]) untuk menghasilkan radikal hidroksil (OH•) pada pH asam, dan radikal hidroksil ini bereaksi dengan cepat dalam lingkungan air. Antara H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan Fe[II] juga dapat bereaksi dengan OH• dan oleh karenanya dapat menghambat jalannya proses oksidasi jika keduanya tidak pada dosis optimumnya (Tang and Huang, 1996 dalam Dincer, 2008). Beberapa literatur menyarankan perbandingan massa Fe[II] dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> adalah 1-10(wt/wt) (Torrades et al., 2003 dalam Dincer, 2008), atau 5-25(wt/wt) (Watts, 1998), dan optimumnya sesuai dengan jenis air limbahnya (Metcalf and Eddy, 2003).

Mekanisme yang terjadi dalam reaksi Fenton sebagai berikut :



(Karthikeyan *et al.*, 2011)

Pada kondisi normal, jika proses Fenton dalam mengoksidasi bahan organik berlangsung secara sempurna, maka molekul organik akan terurai menjadi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (Yap, *et al.*, 2011). Namun proses reaksi Fenton sangat kompleks, beberapa reaksi yang terjadi :



Ketika H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> berlebih maka akan terbentuk lebih banyak OH radikal, yang terbentuk dari reaksi antara organik radikal dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan menghasilkan produk organik lebih stabil (ROH). Reaksi lain yang dapat terjadi yaitu organik radikal bereaksi dengan OH radikal membentuk senyawa yang lebih stabil.



Menurut Willing and Kato (1971) dalam Lin dan Lo (1997) pada kondisi asam akan terjadi reaksi regenerasi Fe<sup>3+</sup> menjadi Fe<sup>2+</sup>





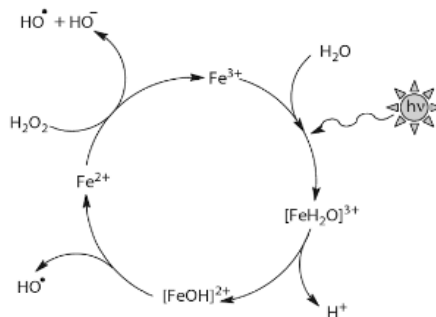
### 2.3.1 Proses Fenton dan *Photo-Fenton*

Reagen Fenton memiliki kelebihan yaitu :

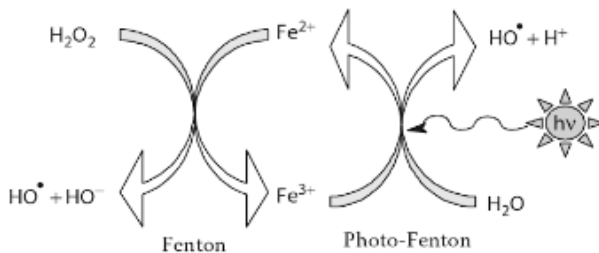
1. Bisa mendegradasi berbagai macam polutan yang *biodegradable* maupun produk yang hampir tidak berbahaya.
2. Merupakan reagen yang *eco-friendly* di lingkungan.
3. Tidak membutuhkan biaya yang tinggi.

Safarzadeh *et al.* (1997) dan Wang (2008) mengobservasi bahwa *initial degradation rate* menggunakan  $Fe^{3+}$  lebih rendah jika dibandingkan dengan menggunakan  $Fe^{2+}$ . Dengan tidak adanya cahaya, mekanisme dekomposisi  $H_2O_2$  di larutan asam melibatkan terbentuknya radikal *hydroxyperoxyl* dan *hydroxyl*.

Reaksi Fenton dapat meningkat berkali lipat apabila diradiasikan dengan UV/*visible light*. Tipe dari jenis reaksi Fenton tersebut dikenal sebagai reaksi *photo-Fenton*. Keuntungan dari reaksi *photo-Fenton* bisa terjadi dengan adanya gelombang radiasi lebih dari 600 nm. Selama reaksi ini,  $Fe^{3+}$  tidak terakumulasi dalam sistem dan  $Fe^{2+}$  diperbarui sehingga reaksi tidak terhenti (Rao *et al.*, 2012). Proses yang terjadi dalam Fenton dan *photo-Fenton* dapat dilihat dalam Gambar 2.1 dan 2.2 berikut.

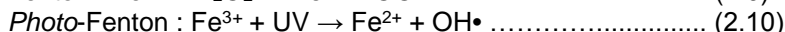
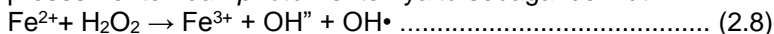


Gambar 2.1 Proses *Photo-Fenton*  
Sumber : Rao *et al.*, 2012



Gambar 2.2 Perbedaan Proses Fenton dan *Photo*-Fenton  
Sumber : Rao *et al*, 2012

Saat proses diradiasikan menggunakan UV, *degradation rate* polutan organik dengan reaksi Fenton dapat meningkat karena adanya pengaruh dari tingginya kadar Fe yang dapat mengurangi kadar organik dari polutan (Pérez *et al.*, 2002). Absorpsi dari UV terbentuk dari  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Tidak ada perbedaan yang signifikan dari proses Fenton dan *photo*-Fenton. Proses oksidasi atau degradasi warna akan bertambah efektif dengan tambahan paparan sinar UV yang memiliki efek tambahan pada penyisihan warna. Reaksi yang terjadi pada proses Fenton dan *photo*-Fenton yaitu sebagai berikut :



Removal COD untuk proses Fenton dan *photo*-Fenton menghasilkan hasil yang tidak jauh berbeda pada proses Fenton dan *photo*-Fenton. Dalam waktu 4 jam, degradasi organik yang terjadi mencapai 90% (Dantas *et al.*, 2003).

### 2.3.2 Faktor yang Mempengaruhi Metode Fenton

Metode Fenton dalam kerjanya dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya sebagai berikut.

#### a. Pengaruh pH

Proses oksidasi Fenton berlangsung secara optimal pada pH yang rendah (2-6), namun mineralisasi bahan organik tetap terjadi pada pH netral dengan ketersediaan besi



( $\text{Fe}^{2+}$ )(Ferrarese *et al.*, 2007). Selain itu pH yang asam (pH 2-3) menghalangi terjadinya presipitasi garam besi. Sedangkan pH yang tinggi membuat terjadinya penurunan ion besi  $\text{Fe}^{2+}$  pada larutan, yang menghalangi berlangsungnya reaksi antara  $\text{Fe}^{2+}$  dengan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan regenerasi  $\text{Fe}^{2+}$  dari  $\text{Fe}^{3+}$  (Lin and Lo, 1997)

b. Pengaruh dosis  $\text{Fe}^{2+}$

Konsentrasi ion fero yang tinggi menyebabkan pembentukan *hydroxyl radical* dan mempercepat terjadinya reaksi redoks (Feng *et al.*, 2010). Namun keberadaan  $\text{Fe}^{2+}$  yang berlebih dapat menyebabkan mekanisme *self-scavenging*  $\text{OH}^*$ , sehingga menurunkan efisiensi degradasi polutan.



Selain itu konsentrasi ion besi yang berlebih tidak diinginkan karena biaya yang dikeluarkan lebih mahal dan membutuhkan *treatment* lanjutan untuk lumpur besi yang dihasilkan (Bautista *et al.*, 2007).

c. Pengaruh dosis  $\text{H}_2\text{O}_2$

Semakin banyak dosis  $\text{H}_2\text{O}_2$  dalam kondisi yang sesuai dapat menghasilkan lebih banyak  $\text{OH}^*$  yang tersedia untuk memecah molekul organik dalam limbah, namun dosis  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang terus meningkat dapat menyebabkan perubahan kecepatan degradasi (Feng *et al.*, 2010). Hal tersebut terjadi karena  $\text{OH}^*$  dapat bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan menghasilkan senyawa radikal  $\text{OOH}^*$  yang kereaktifannya lebih rendah dari  $\text{OH}^*$  (Kang *et al.*, 2002; Aravindhan, *et al.*, 2006).

d. Pengaruh rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$

Pengaruh rasio molar merupakan jumlah maksimum radikal  $\text{OH}$  yang tersedia untuk oksidasi senyawa organik, sehingga rasio molar  $\text{H}_2\text{O}_2$  terhadap  $\text{Fe}^{2+}$  adalah parameter operasional yang sangat penting dari proses Fenton. Penentuan rasio ini digunakan untuk mendapatkan efisiensi pengolahan yang baik yang juga berpengaruh terhadap efisiensi penurunan COD. Sangat penting untuk penentuan rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$  dalam proses Fenton karena setiap limbah memiliki rasio optimum tertentu.

e. Pengaruh waktu reaksi

Proses oksidasi molekul organik dengan reagen Fenton terdiri dari dua tahapan proses. Pada tahap pertama, molekul organik diurai dengan cepat (mendekati 10 menit) akibat dari kecepatan pembentukan OH radikal dari reaksi  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan  $\text{Fe}^{2+}$ . Pada tahap kedua,  $\text{Fe}^{3+}$  perlahan membentuk kembali  $\text{Fe}^{2+}$  yang kemudian menghasilkan OH radikal, sehingga proses Fenton dapat berlangsung dalam waktu menit hingga hari (Singh dan Tang, 2013). Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa molekul organik dengan cepat terdegradasi dalam waktu 30 menit, yang mana penelitian dilakukan dalam range 300 menit.

f. Pengaruh suhu

Suhu memiliki efek positif pada penghapusan kadar organik pada pengolahan menggunakan Fenton terhadap lindi TPA. Rivas *et al.* (2003) dan Zhang *et al.* (2005) masing-masing meneliti 10-30.1°C dan 13-37.1°C, penghilangan COD akhir meningkat dengan meningkatnya suhu. Namun, kenaikan suhu lebih lanjut secara signifikan dapat menyebabkan dekomposisi  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang tidak efisien sehingga terjadi peningkatan removal COD. Peningkatan penyisihan organik karena kenaikan suhu relatif kecil dibandingkan dengan faktor lainnya (Zhang *et al.*, 2005). Hal tersebut akibat terjadinya kecepatan dekomposisi dari hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen (Rivas *et al.*, 2004).

## 2.4 Katalis Proses Fenton

Keberadaan katalis dalam proses Fenton sangat mempengaruhi pembentukan hidroksil radikal. Istilah katalis merupakan sesuatu yang ditambahkan ke dalam reaksi untuk mempercepat laju reaksi tanpa dikonsumsi dalam prosesnya. Pada proses Fenton berdasarkan jenis katalis yang digunakan, dibedakan menjadi *Homogenous Fenton* dan *Heterogenous Fenton*. Umumnya proses *Homogenous Fenton* menggunakan  $\text{FeSO}_4$  sebagai sumber besi sebagai katalis, sedangkan *Heterogenous Fenton* dapat menggunakan besi dalam bentuk padatan seperti goethite, magnetite, dan hematite. Selain itu banyak dikembangkan penelitian lain mengenai penggunaan katalis logam transisi seperti Ti, Cr, Mn, Co, dan Ni dan logam

nanopartikel pada proses Fenton (Dhakshinamoorthy *et al.*, 2012).

Pada proses reaksi *Homogenous Fenton* menggunakan konsentrasi tinggi pada besi sehingga harus dihilangkan dan menghasilkan lumpur. Selain itu, proses ini juga membutuhkan pH 3 atau dibawahnya, di mana hal ini menghabiskan biaya untuk proses netralisasi setelah pengolahan. Oleh karena itu, *immobilized* katalis besi iron, dapat mendorong atau membuat proses Fenton berada pada kondisi asam yang kurang. (Barrault *et al.*, 2000; Bozzi *et al.*, 2003; Carriazo *et al.*, 2005; Centi *et al.*, 2000).

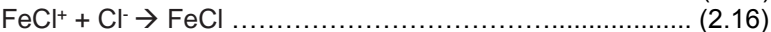
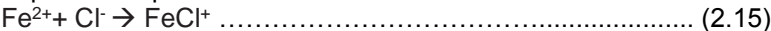
**2.5 Pengaruh NaCl dalam Proses Fenton**

Penambahan NaCl pada proses Fenton memberikan dampak terhadap hasil pengolahan. Salah satu dampak NaCl yaitu terhadap efisiensi perubahan warna dapat dijelaskan sebagai berikut. Dengan adanya kelebihan ion Cl<sup>-</sup> karena reaksi HO• radikal dengan ion Cl<sup>-</sup>, sehingga ion-radikal Cl<sub>2</sub><sup>-•</sup> diproduksi, yang memiliki potensi oksidatif jauh lebih rendah daripada radikal HO. Berikut merupakan reaksi yang terjadi :



(Ledakowicz, 2000).

Efek kehadiran NaCl terjadi penghambatan perubahan warna, bahwa kandungan NaCl yang lebih tinggi maka semakin buruk tingkat perubahan warna. Interaksi klorida pada mekanisme Fenton disebabkan oleh kompleksasi Fe<sup>2+</sup> / Fe<sup>3+</sup> dengan Cl<sup>-</sup> atau pembentukan radikal hidroksil yang selanjutnya dapat menghasilkan radikal klorida Cl<sup>-•</sup>, yang kurang reaktif dibandingkan radikal hidroksil. Di mana hal ini juga mengakibatkan penurunan kadar organik lebih lambat. Hal ini dapat dilihat pada reaksi berikut.



(Bacardit *et al.*, 2007)

## 2.6 Residu Proses Fenton

Efisiensi proses Fenton sangat dipengaruhi oleh rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}]$ :  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  yang ditambahkan dalam proses pengolahan. Penambahan reagen Fenton yang berlebih selain mengurangi efisiensi pengolahan juga menimbulkan adanya residu  $\text{Fe}^{2+}$  maupun  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Residu besi dan hidrogen peroksida yang masih terkandung dalam effluen membutuhkan pengolahan lanjutan agar tidak membahayakan lingkungan saat dibuang ke badan air. Pengolahan residu proses Fenton yaitu menggunakan proses netralisasi di mana dapat mengurangi kandungan hydrogen peroksida dan besi yang berlebih.

Hal ini karena hidrogen peroksida beracun untuk organisme air serta paparan  $\text{H}_2\text{O}_2$  memberikan efek yang merugikan pada biota. Menurut Schmidt, *et al.* (2006), konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  di bawah 0,7 mg/L sedangkan kadar besi yang aman bagi organisme air menurut Moore (1991) yaitu kadar besi tidak lebih dari 1 mg/L. Sehingga residu proses Fenton dalam perairan tidak akan menjadi ancaman bagi organisme air dan lingkungan.

## 2.7 Hidrogen Peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )

Hidrogen peroksida pertama kali ditemukan oleh Louis Jacques Thenard di tahun 1818. Senyawa ini merupakan bahan kimia yang memiliki sifat oksidator kuat. Hidrogen peroksida terbuat dari gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan gas oksigen ( $\text{O}_2$ ). Hidrogen peroksida tidak berwarna, berbau menyengat, dan larut dalam air. Pada suhu dan tekanan ruang, hidrogen peroksida sangat stabil dengan laju dekomposisi kurang dari 1% per tahun. Hidrogen peroksida murni akan terurai dengan cepat menjadi air dan oksigen pada suhu 80°C.

### 2.6.1 Dekomposisi Hidrogen Peroksida

Dekomposisi hidrogen peroksida dipengaruhi oleh beberapa hal, terutama oleh pengaruh katalis yang akan terurai menjadi air dan oksigen dalam reaksi eksotermik. Faktor utama yang mempengaruhi stabilitas larutan hidrogen peroksida adalah sebagai berikut.

- a. Suhu  
Kenaikan suhu meningkatkan tingkat dekomposisi hidrogen peroksida. Berdasarkan persamaan Arrhenius bahwa tingkat dekomposisi hidrogen peroksida meningkat dua kali setiap kenaikan suhu sebesar 10°C. Selain itu, karena sifatnya yang eksotermis, laju dekomposisi  $\text{H}_2\text{O}_2$  terakselerasi dengan sendirinya.
- b. pH  
Larutan hidrogen peroksida memiliki sifat asam ( $\text{pH} < 7$ ). Umumnya larutan hidrogen peroksida komersial pada pH kurang dari 3 (asam kuat).
- c. Katalis  
Mayoritas logam mempercepat proses dekomposisi hidrogen peroksida. Selain itu, beberapa zat organik dapat menginisiasi terjadinya dekomposisi hidrogen peroksida. Beberapa enzim juga cenderung menyebabkan dekomposisi hidrogen peroksida, terutama dalam larutan yang diencerkan pada reaksi katalitik biologis.
- d. Cahaya  
Cahaya dan radiasi matahari dapat meningkatkan laju dekomposisi hidrogen peroksida.

## 2.8 Netralisasi Residu Proses Fenton

Residu proses Fenton berasal dari penambahan reagen Fenton sehingga menghasilkan adanya residu  $\text{Fe}^{2+}$  maupun  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Residu besi dan hidrogen peroksida yang masih terkandung dalam effluen membutuhkan pengolahan lanjutan agar tidak membahayakan lingkungan saat dibuang ke badan air. Effluen proses Fenton diatur pH nya 6-9. Menurut Yunaz (2015), waktu optimum untuk dekomposisi  $\text{H}_2\text{O}_2$  didapatkan pada 10 menit pertama mencapai 71,2 – 80,5 %. Dengan memperpanjang waktu reaksi netralisasi, konsentrasi besi dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  berkurang. Menurut Pignatello (1992), reaksi Fenton tidak bisa terjadi pada  $\text{pH} > 10$ . Oleh karena itu, reaksi Fenton berhenti ketika adanya penambahan NaOH pada reaksi. Sehingga dalam proses netralisasi residu Fenton digunakan NaOH.

Penurunan konsentrasi hidrogen peroksida berdasarkan variasi pH mengindikasikan bahwa semakin tinggi pH, maka

removal semakin tinggi. Proses netralisasi residu Fenton juga dapat mereduksi konsentrasi besi yang tersisa di effluent. Setelah mengalami netralisasi, besi (Fe) membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , dan terpresipitasi dari larutan. Besi yang terukur merupakan total besi. Dalam proses netralisasi, semakin lama waktu reaksi, maka residu akan lebih berkurang sehingga memenuhi baku mutu standar. Pada pH yang lebih tinggi, residu besi lebih berkurang. (Yunaz, 2015)

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Dasar dan acuan yang berupa teori-teori atau temuan-temuan melalui hasil dari berbagai penelitian sebelumnya merupakan hal yang sangat penting dan dapat dijadikan sebagai data pendukung. Salah satu data pendukung yang menurut peneliti perlu dijadikan bagian tersendiri adalah penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang sedang dibahas dalam penelitian ini. Dalam hal ini, fokus penelitian terdahulu yang dijadikan acuan adalah terkait pengolahan limbah dengan metode Fenton. Oleh karena itu, peneliti melakukan langkah kajian terhadap beberapa hasil penelitian berupa jurnal-jurnal melalui internet. Hasil ini berfungsi sebagai referensi untuk pelaksanaan penelitian dan melakukan analisis data dan pembahasan. Berbagai penelitian terkait dengan pengolahan limbah dengan metode Fenton disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

Sumber	Karakteristik awal lindi	Hasil penelitian
(Talebi <i>et al.</i> , 2013)	pH = 9,4 BOD = 470,4 mg/L COD = 1421 mg/L	Pada penelitian ini terjadi penurunan COD menjadi sebesar 68 mg/L.
(Santin <i>et al.</i> , 2015)	COD = 2296 mg/L BOD = 708,32 mg/L pH = 8,42	Konsentrasi yang berbeda pada $\text{H}_2\text{O}_2$ dan $\text{FeSO}_4$ dikombinasikan pada pH yang asam, menghasilkan removal COD sebesar 81,94%.
(Kocak <i>et al.</i> , 2013)	pH = 7,8	COD berkurang dari

Sumber	Karakteristik awal lindi	Hasil penelitian
	COD = 1400 mg/L BOD = 1021 mg/L	1400 mg/L menjadi 735 mg/L dengan efisiensi removal 46% untuk 900 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .
(Kumar <i>et al.</i> , 2016)	COD = 7360 mg/L pH = 8,55	Reduksi COD dan warna setelah pengolahan dengan Fenton yaitu 84,2%. COD removal dipengaruhi oleh konsentrasi H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> dan rasio molar [Fe <sup>2+</sup> ] : [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]
(Aygün <i>et al.</i> , 2012)	pH = 7,25 COD 38,2 g/L BOD <sub>5</sub> 22 g/L Ratio BOD <sub>5</sub> /COD = 0,58 (Young Leachate)	Degradasi terjadi selama 30 menit dengan removal COD sebesar 55,7%
(Tengrui <i>et al.</i> , 2007)	COD = 1500 mg/L BOD = 100 mg/L pH = 8	Dalam waktu 1 jam dengan rasio molar [Fe <sup>2+</sup> ] : [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] = 1:1 menghasilkan pH = 3 dan COD removal sebesar 64%
(Amuda, 2006)	Konduktivitas = 27,2 pH = 7,9 COD = 5420 mg/L Warna = 6900 pt unit Co	pH = 3-4 Removal COD = 88% Removal warna = 98%

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Kerangka Penelitian**

Metode penelitian ini disusun sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian. Metode penelitian ini juga disusun untuk mempermudah pemahaman dalam melaksanakan penelitian, sehingga mengurangi terjadinya kesalahan dalam prosedur kerja.

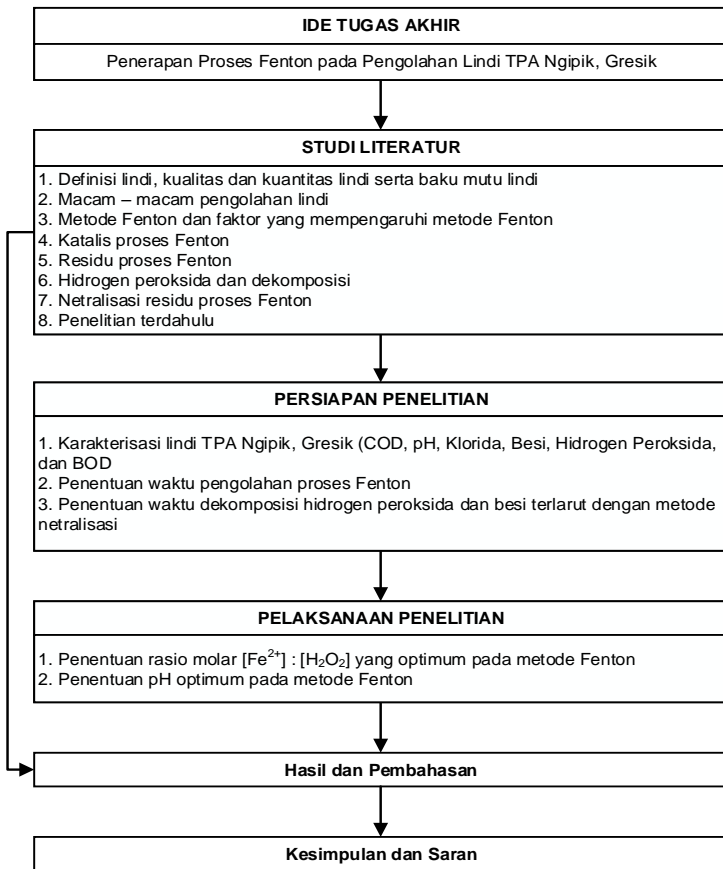
Penelitian yang dilakukan yaitu pengolahan lindi TPA Ngipik, Gresik dengan menggunakan metode Fenton. Paramater yang diuji antara lain: COD, pH, klorida ( $\text{Cl}^-$ ),  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan  $\text{Fe}^{2+}$ , dan BOD. Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$ , pH, serta penambahan NaCl.

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Kerangka Penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah.

#### **3.2 Ide Tugas Akhir**

Lindi merupakan effluent yang berupa cairan yang dihasilkan dari infiltrasi air hujan melewati sampah, proses biokimia di dalam sampah dan kandungan air dari sampah yang dapat merembes ke dalam tanah sehingga bercampur dengan air tanah, ataupun mengalir di permukaan tanah dan bermuara pada aliran air sungai. Hal ini menyebabkan lindi mencemari air permukaan atau air tanah yang dipengaruhi oleh kondisi geologi (tipe tanah dan jenis batuan) serta kondisi hidrologi. Oleh karena itu, lindi yang dihasilkan di TPA membutuhkan kontrol dan perlakuan.

Beberapa kondisi tersebut, membuat munculnya ide penelitian tentang pengolahan lindi menggunakan metode Fenton. Penggunaan metode Fenton tersebut diharapkan mampu mengolah lindi agar tidak mencemari lingkungan dan meningkatkan kualitas air tanah pada lahan TPA.



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

### 3.3 Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk mendapatkan informasi-informasi dan teori yang menunjang dalam pelaksanaan penelitian. Literatur yang digunakan berasal dari *text book*, jurnal

penelitian, artikel, *website*, tugas akhir, tesis, disertasi dan lain sebagainya. Studi literatur bermanfaat untuk waktu pengolahan dan rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$  serta pH yang tepat dalam pengolahan

Literatur yang digunakan mencakup tentang penelitian yang dilakukan yaitu pengolahan Fenton, faktor-faktor yang mempengaruhi proses Fenton, hidrogen peroksida, lindi dan pengolahannya. Studi literatur juga berfungsi sebagai batasan dalam kedalaman pengerjaan penelitian sehingga mempermudah dalam pengerjaan.

### 3.4 Persiapan Penelitian

Tahap persiapan penelitian merupakan tahap awal dalam penelitian. Pada tahap ini dilakukan penyiapan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian. Alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain spektrofotometer sinar tampak (UV-Vis), peralatan laboratorium seperti *glassware*, pH meter, *magnetic stirrer*, *vacuum filter*, cawan porselen, desikator, wadah sampel, pencatat waktu (*stopwatch*), serta peralatan lain yang digunakan dalam analisis. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa lindi yang berasal dari TPA Ngipik Gresik, reagen Fenton,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  95-97% (w/w) sebagai pengatur pH, aquades sebagai pelarut, kertas saring, dan bahan kimia lain yang digunakan dalam analisis BOD, COD, klorida, besi terlarut dan residual  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Volume  $\text{H}_2\text{O}_2$  ditambahkan pada tiap langkah/step. Beberapa hal yang dilakukan pada tahap ini, antara lain sebagai berikut:

#### 1. Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari kolam penampung IPL TPA Ngipik di Gresik. Sampel diambil sebanyak 120 Liter dimasukkan pada jerigen 20 L sebanyak 6 buah. Wadah sampel harus tertutup dan gelap yang terbuat dari jerigen plastik untuk menghindari terjadinya kontaminasi dari luar yang dapat mengganggu analisis. Sampel yang digunakan dianalisis karakteristik awalnya sebelum dilakukan penelitian agar menghasilkan analisis yang akurat.

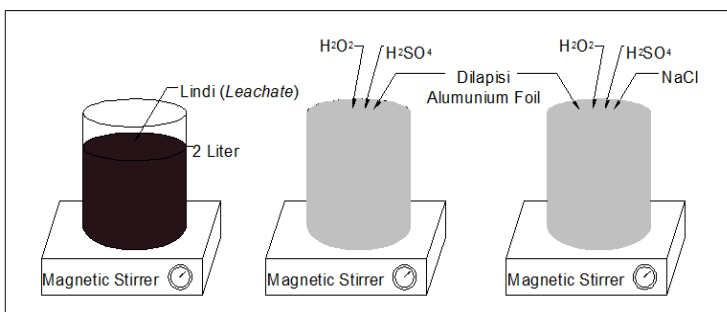
## 2. Pembuatan Reagen Fenton

Reagen Fenton terbuat dari larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% pro analyst (Merck). Selanjutnya dalam memvariasikan rasio  $\text{Fe}^{2+}$ :  $\text{H}_2\text{O}_2$  dosis  $\text{H}_2\text{O}_2$  jumlahnya ditentukan dari kebutuhan  $\text{H}_2\text{O}_2$  berdasarkan karakteristik COD dari lindi yang digunakan. Menurut Kang and Hwang (2000),  $\text{H}_2\text{O}_2$  (100%) secara teoritis berkisar 2,12 mg untuk mengoksidasi 1 mg BOD/COD. Maka dosis  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan dapat dihitung :

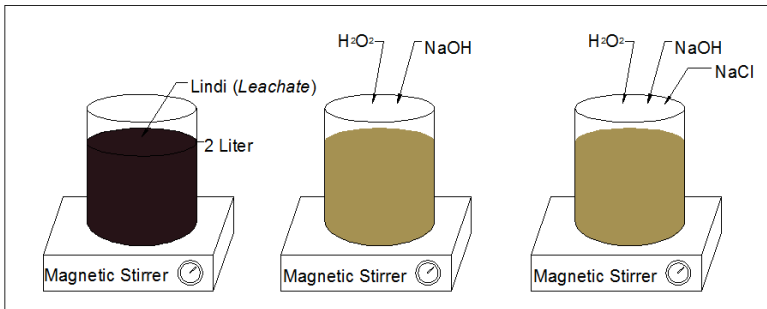
Konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  = Konsentrasi COD x 2,12

## 3. Persiapan Reaktor

Pada penelitian ini digunakan reaktor berupa *beaker glass* dengan volume 2 Liter. Sebelum digunakan, reaktor dicuci terlebih dahulu dengan asam sulfat 10%, untuk meminimalisir adanya kontaminan yang dapat mengganggu proses analisis dan hasil penelitian. Dalam pengoperasian reaktor, menggunakan *magnetic stirrer* untuk menghomogenkan larutan. Pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dilakukan dengan kecepatan 200 rpm selama 120 menit, dengan sampel diambil tiap 30 menit. Agar proses Fenton berlangsung tanpa adanya pengaruh cahaya, maka reaktor dibungkus dengan menggunakan *aluminium foil*. Reaktor penelitian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3 berikut.



Gambar 3.2 Reaktor Penelitian Fenton



Gambar 3.3 Reaktor Penelitian Netralisasi

Penelitian pendahuluan dilakukan dalam dua tahap. Pertama, melakukan karakterisasi lindi untuk mengetahui kadar parameter awal lindi yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian. Parameter yang dianalisis dalam penelitian adalah BOD, COD, pH,  $\text{Cl}^-$ , dan  $\text{Fe}^{2+}$ . Selain itu, dilakukan analisis besi untuk mengetahui apakah  $\text{Fe}^{2+}$  di dalam lindi dapat dimanfaatkan untuk proses Fenton. Pengujian BOD untuk mengetahui rasio BOD/COD pada sampel. Pengujian COD awal digunakan sebagai penentuan dosis  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan pada tahap penelitian proses Fenton, dan menjadi parameter untuk penentuan efisiensi pengolahan. pH digunakan sebagai data penentuan dosis asam dan basa yang ditambahkan selama proses Fenton. Kedua, penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan lamanya waktu pengolahan yang digunakan dalam proses Fenton dan proses dekomposisi  $\text{H}_2\text{O}_2$  serta penurunan residu besi.

#### A. Analisis Karakteristik Awal Lindi

Karakteristik awal lindi yang diuji adalah BOD, COD, pH,  $\text{Cl}^-$ , dan besi.

- Analisis BOD

Analisis parameter BOD yaitu pengukuran selama 5 hari yang mengacu pada *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995). Analisis BOD ini dilakukan di akhir dalam waktu 240 menit pengolahan.

- Analisis COD

Analisis parameter COD awal mengacu pada *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995). Analisis COD dilakukan dengan metode *closed*

*reflux* dengan Kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) sebagai sumber oksigennya.

- Analisis pH  
Analisis pH awal pada lindi digunakan sebagai penentuan dosis asam atau basa yang ditambahkan saat perlakuan metode Fenton untuk mengkondisikan lindi pada pH tertentu sehingga metode Fenton dapat berlangsung secara optimum. Pengkondisian nilai pH lindi dilakukan dengan menambahkan  $H_2SO_4$  atau NaOH sesuai kebutuhan. Analisis nilai pH menggunakan alat pH meter.
- Analisis klorida ( $Cl^-$ )  
Analisa klorida lindi dilakukan dengan Argentometri Mohr yaitu analisis klorida dengan cara menitrasi larutan garam alkali (contoh: NaCl) dan kalium kromat ( $K_2CrO_4$ ) dengan titran perak nirat ( $AgNO_3$ ).
- Analisis besi (Fe)  
Analisa besi lindi dilakukan dengan metode spektrofotometri yaitu analisis besi dengan cara pembacaan sampel lindi dengan spektrofotometer yang sebelumnya sudah ditambahkan *Hydroxylamine* ( $NH_2OH.HCl$ ), HCl, *Ammonium Acetate Buffer* ( $NH_4C_2H_3O_2$ ) dan *Phenanthroline Monohydrate* dengan panjang gelombang 510  $\mu m$ .
- Analisis  $H_2O_2$   
Analisis  $H_2O_2$  yang dilakukan menggunakan metode metavanadate yang mengacu pada Nogueira *et al*, 2015. Selanjutnya pengukuran  $H_2O_2$  dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang 450 nm.

Karakterisasi lindi parameter awal yang didapatkan dari hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Hasil Karakterisasi Lindi

Parameter	Hasil Analisis
COD (mg/L)	4400
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	475,04
BOD <sub>5</sub> /COD	0,135
pH	8,14
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	1260

Parameter	Hasil Analisis
Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	187
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	120

## B. Penentuan Waktu Pengolahan atau Waktu Pengoperasian Reaktor

Penentuan waktu pengolahan dilakukan dalam dua tahap. Pertama, analisis dilakukan untuk menentukan waktu pengolahan yang digunakan dalam proses Fenton. Kedua, analisis dilakukan untuk menentukan waktu penurunan residu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan besi terlarut dengan netralisasi.

### a. Penentuan Waktu Pengolahan Fenton

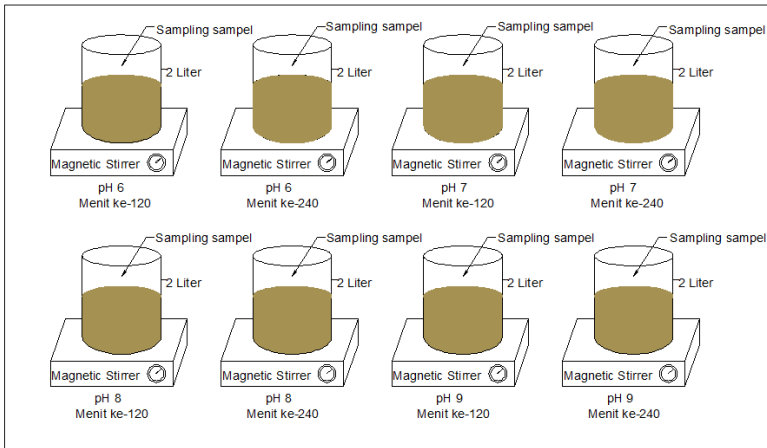
Waktu pengolahan pada proses Fenton ditentukan pada dasar waktu yang diperlukan untuk menurunkan COD awal hingga mencapai nilai yang sesuai dengan baku mutu PermenLHK No. 59 Tahun 2016 yaitu 300 mg/L. Pada penentuan waktu pengolahan Fenton, dilakukan pengambilan sampel sebanyak 55 ml pada menit ke 0, 20, 40, 60, 90, 120, 180, dan 240. Dari analisis ini akan diperoleh pola penurunan konsentrasi parameter yang diuji yaitu COD selama proses Fenton, sehingga dapat dipilih waktu untuk analisis selanjutnya terhadap parameter penelitian utama.

Dalam analisis ini diukur pula residu besi dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> di akhir proses Fenton. Parameter lain yang diteliti yaitu pH, selama berlangsungnya proses Fenton diukur dalam rentang waktu tertentu sehingga didapat pola perubahan pH selama proses Fenton. Pemilihan pH dipertimbangkan bahwa semakin rendah nilai pH maka proses Fenton akan berlangsung lebih cepat.

### b. Penentuan Waktu dan pH Optimum Netralisasi

Waktu pengolahan residu besi dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dari proses Fenton ditentukan berdasarkan lamanya waktu yang diperlukan untuk menurunkan residu besi atau H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> untuk mencapai kadar yang aman di perairan. Kadar besi yaitu  $\leq 1$  mg/L dan kadar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yaitu 0,7 mg/L. Pada tahap ini dilakukan netralisasi terhadap residu proses Fenton dengan effluen proses Fenton diatur pH 6-9, dengan waktu 240 menit.

Dalam pengukuran konsentrasi besi dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang tersisa, dilakukan pengambilan sampel pada menit ke 120 dan 240 pada pH 6-9. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  pada sampel yang sudah dilakukan netralisasi sehingga didapatkan waktu dan pH yang optimum dalam netralisasi. Memperpanjang waktu reaksi netralisasi, konsentrasi besi dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  berkurang. Pada analisis ini, konsentrasi awal residu didapatkan dari residu hasil proses Fenton penelitian pendahuluan. Langkah penentuan waktu dan pH optimum netralisasi dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Tahap Penentuan Waktu dan pH Netralisasi

### 3.5 Pengolahan Lindi dengan Proses Fenton

Proses Fenton terjadi dari reaksi antara hidrogen peroksida dengan ion besi menghasilkan *hydroxyl radical* yang dapat mengoksidasi senyawa organik maupun inorganik (Babuponnusami dan Muthukumar, 2014). Pengolahan lindi menggunakan Fenton terbukti efisien dalam meremoval senyawa kimia organik, terutama senyawa *nonbiodegradable* pada fase cair, tanah, dan sedimen. Proses Fenton dapat digunakan untuk mengolah limbah seperti limbah pewarnaan dan lindi karena non



selektivitasnya pada senyawa kimia organik. Pengaruh variabel seperti pH ditentukan di penelitian ini.

Pengolahan lindi dengan proses Fenton bertujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan khususnya air tanah yang disebabkan oleh lindi yang memiliki konsentrasi COD tinggi. Metode Fenton adalah salah satu dari teknologi oksidasi kimia lanjut (*Advanced Oxidation Process – AOPs*) yang ditemukan oleh H.J.H. Fenton pada tahun 1894 yang menyatakan bahwa  $\text{H}_2\text{O}_2$  dapat diaktivasi oleh  $[\text{Fe}^{2+}]$  untuk mengoksidasi asam tartarik. Dalam penelitian, lindi direaksikan dengan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebagai reagen Fenton. Penggunaan reagen Fenton di dalam proses dibuat atas perbandingan berat antara hidrogen peroksida dan garam besi [II]. Proses Fenton didasarkan pada perpindahan electron  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan aktivitas  $\text{Fe}^{2+}$  sebagai katalis homogen. Proses oksidasinya didasarkan pada campuran hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) dan garam besi ( $\text{Fe}[\text{II}]$ ) untuk menghasilkan radikal hidroksil ( $\text{OH}^\bullet$ ) pada pH asam, dan radikal hidroksil ini bereaksi dengan cepat dalam lingkungan air.

Setelah diperoleh data-data analisis karakteristik awal lindi dan waktu pengolahan, selanjutnya dilakukan tahap analisis parameter penelitian utama. Analisis yang dilakukan yaitu analisis COD, pH,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , dan BOD yang dilakukan dalam rentang waktu 240 menit. Rangkaian reaktor Fenton sistem batch dalam skala laboratorium. Reaktor terbuat dari beaker glass kapasitas 2L, volume lindi 2 liter. Pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan konstan yaitu 200 rpm. Dinding reaktor dilapisi aluminum foil untuk mencegah kontaminasi dengan lingkungan luar. Ke dalam reaktor dimasukkan sampel lindi 2 liter dengan konsentrasi COD 4400 mg/L kemudian diukur pH. Reaktor ditutup dan dikondisikan agar isi reaktor benar-benar tidak dipengaruhi oleh sistem luar. Ke dalam reaktor ditambahkan  $\text{H}_2\text{O}_2$  secara perlahan untuk reaksi peroksidasi menentukan dosis  $\text{H}_2\text{O}_2$  optimum terjadi pada setiap titik. Sampel yang digunakan dalam tiap analisis dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Pengambilan Sampel tiap Analisis

Parameter	Kebutuhan Sampel (mL)	Waktu Pengambilan (menit)
COD	1	0, 20, 40, 60, 90, 120, 180, 240
pH	10	0, 20, 40, 60, 90, 120, 180, 240
Cl <sup>-</sup>	5	0, 20, 40, 60, 90, 120, 180, 240
Fe <sup>2+</sup>	25	0, 20, 40, 60, 90, 120, 180, 240
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	0, 20, 40, 60, 90, 120, 180, 240
BOD	10	240
<b>Total</b>	<b>55</b>	

1. Penentuan Rasio Molar [Fe<sup>2+</sup>] : [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] dan pH optimum

Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan rasio molar [Fe<sup>2+</sup>] : [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] dan pH optimum pada sampel lindi yang diteliti. Hal ini untuk mendapatkan kondisi optimum berlangsungnya proses Fenton untuk mendapatkan efisiensi pengolahan lindi secara maksimal.

Efisiensi proses Fenton dipengaruhi oleh pH, di mana menurut Ferrarese et al (2008), Fenton berlangsung secara optimal apabila pH yang dimiliki rendah. S. Amuda et al (2006) menyebutkan bahwa pH optimum untuk Fenton berkisar antara 2-4 dan sistem bisa bekerja hingga pH mendekati 5.

Variasi yang digunakan yaitu rasio molar [Fe<sup>2+</sup>] : [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] dengan perbandingan 1:5; 1:10; 1:15; dan 1:20 serta 1:1 dengan pH menggunakan pH awal, pH 3 dan pH 4. Kontrol dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pH selama berjalannya proses Fenton dilakukan uji pada sampel dengan pH asli lindi. Dalam bervariasi rasio molar [Fe<sup>2+</sup>] : [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] selama proses Fenton, molar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dibuat tetap yang ditentukan berdasarkan konsentrasi awal COD dalam air limbah. Menurut Kang and Hwang (2000), kebutuhan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 2,12 mg/L untuk mengoksidasi 1 mg/L COD, dengan perhitungan konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi H}_2\text{O}_2 &= \text{Konsentrasi COD} \times 2,12 \\ \text{Molar H}_2\text{O}_2 &= \frac{\text{Konsentrasi H}_2\text{O}_2}{\text{Berat Molekul H}_2\text{O}_2} \end{aligned}$$

Berdasarkan penelitian pendahuluan, diketahui bahwa konsentrasi Fe<sup>2+</sup> pada lindi TPA Ngipik sebesar 187 mg/L dan

konsentrasi COD lindi sebesar 4400 mg/L. Kemudian dapat diketahui konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  dengan menggunakan rumus :

$$\text{Konsentrasi } \text{H}_2\text{O}_2 = \text{Konsentrasi COD} \times 2,12$$

$$\text{Konsentrasi } \text{H}_2\text{O}_2 = 4400 \text{ mg/L} \times 2,12 \times 2\text{L}$$

$$\text{Konsentrasi } \text{H}_2\text{O}_2 = 18,656 \text{ g/L}$$

$$M \text{ H}_2\text{O}_2 = \frac{\text{Konsentrasi } \text{H}_2\text{O}_2}{\text{BM } \text{H}_2\text{O}_2} = \frac{18,656 \text{ g/L}}{34 \text{ g/mol}} = 0,27 \text{ M}$$

Salah satu contoh perhitungan untuk perbandingan 1  $[\text{Fe}^{2+}]$  : 1  $[\text{H}_2\text{O}_2]$ , perhitungan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan sebagai berikut :

$$1 [\text{Fe}^{2+}] : 1 [\text{H}_2\text{O}_2]$$

$$M \text{ H}_2\text{O}_2 = 0,27 \text{ M}$$

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 34 \text{ M} = 2000 \times 0,27 \text{ M}$$

$$\text{Volume } \text{H}_2\text{O}_2 \text{ yang dibutuhkan} = 15,88 \text{ ml}$$

Penentuan rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}]$  :  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  berdasarkan Kurniawan and Lo (2009), di mana  $[\text{Fe}^{2+}]$  :  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  <3 efisiensi oksidasi berkurang, sehingga menyebabkan tidak cukupnya hidrogen peroksida untuk membentuk *hydroxyl radicals*. Variasi penelitian yang dilakukan dijelaskan pada Tabel 3.2 hingga 3.4 berikut.

Tabel 3.3 Variasi Rasio Molar  $[\text{Fe}^{2+}]$  :  $[\text{H}_2\text{O}_2]$

Variasi pH	Variasi rasio molar $[\text{Fe}^{2+}]$ : $[\text{H}_2\text{O}_2]$				
	1:1	1:5	1:10	1:15	1:20
3	A1	A2	A3	A4	A5
4	A6	A7	A8	A9	A10
pH asli	A11	A12	A13	A14	A15

### 3.6 Penambahan NaCl dalam Proses Pengolahan

Dalam pengolahan lindi TPA Ngipik, Gresik, dilakukan penambahan NaCl. Tujuan penambahan NaCl yaitu dapat meningkatkan efisiensi removal COD (Amuda, 2006). Reaksi garam besi ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dengan  $\text{H}_2\text{O}_2$  pada proses Fenton dapat menghasilkan *hydroxyl radicals*, seperti pada reaksi (2.1). Penambahan NaCl dalam proses pengolahan menggunakan

Fenton bereaksi dengan  $\text{Fe}^{3+}$  dapat membentuk  $\text{FeCl}_3$  sebagai koagulan. Dalam penelitian Amuda (2006), penggunaan NaCl dalam Fenton mereduksi COD sebesar 37%. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran salinitas, yang merupakan kadar garam terlarut dalam air. Sehingga pengukuran salinitas lindi TPA Ngipik dilihat dari jumlah berat total (gram) NaCl (konsentrasi NaCl) yang didapat dari pengukuran klorida ( $\text{Cl}^-$ ) dengan analisis Argentometri Mohr. Pada Tabel 3.4 menunjukkan variasi penambahan NaCl.

Tabel 3.4 Variasi Penambahan NaCl

pH	Penambahan NaCl	
	Tanpa Penambahan	Penambahan 1 gram NaCl
3	B1	B2
4	B3	B4
asli	B5	B6

Sehingga variasi penelitian Fenton dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Variasi Penelitian 1 Tanpa Penambahan NaCl

Variasi pH	Tanpa Penambahan NaCl				
	1:1	1:5	1:10	1:15	1:20
3	A1B1	A2B1	A3B1	A4B1	A5B1
4	A6B3	A7B3	A8B3	A9B3	A10B3
pH asli	A11B5	A12B5	A13B5	A14B5	A15B5

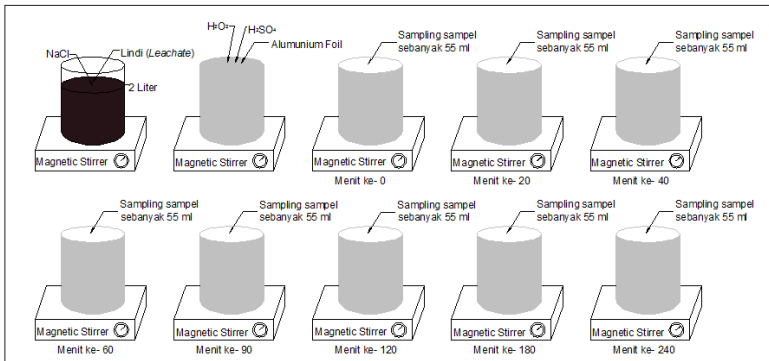
Tabel 3.6 Variasi Penelitian 1 Penambahan 1 gram NaCl

Variasi pH	Penambahan 1 gram NaCl				
	1:1	1:5	1:10	1:15	1:20
3	A1B2	A2B2	A3B2	A4B2	A5B2
4	A6B4	A7B4	A8B4	A9B4	A10B4
pH asli	A11B6	A12B6	A13B6	A14B6	A15B6

Penurunan konsentrasi COD selama berlangsungnya proses Fenton digunakan untuk mencari efisiensi pengolahan. Efisiensi pengolahan ditentukan berdasarkan proses Fenton dengan removal COD. Sehingga dianalisis rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$ , pH dan waktu pengolahan untuk menghasilkan efisiensi sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{Konsentrasi akhir}}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\%$$

Tahap proses Fenton dalam pengolahan lindi dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Tahap Proses Fenton dalam Pengolahan Lindi

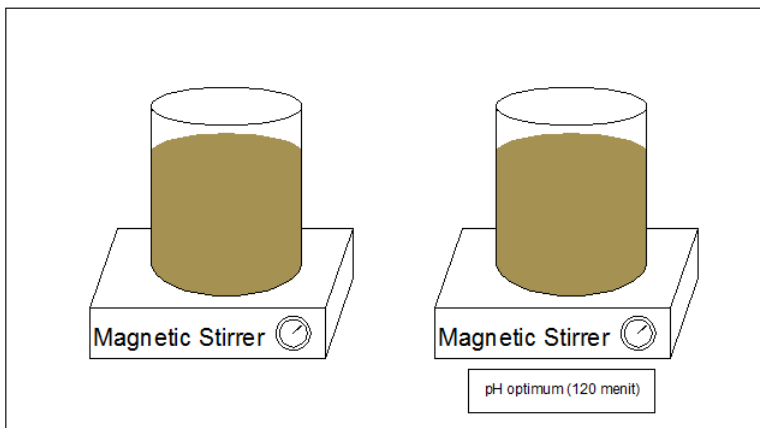
### 3.7 Pengolahan Residu Fenton dengan Netralisasi

Dalam pengolahan lindi menggunakan proses Fenton terjadi dari reaksi antara hidrogen peroksida dengan ion besi menghasilkan residu yang berasal dari penambahan reagen Fenton yang berlebih menghasilkan adanya residu  $\text{Fe}^{2+}$  maupun  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Residu besi dan hidrogen peroksida yang masih terkandung dalam effluen membutuhkan pengolahan lanjutan agar tidak membahayakan lingkungan saat dibuang ke badan air. Pengolahan yang dapat dilakukan pada residu ini yaitu dengan netralisasi. Variasi dalam netralisasi residu Fenton dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.7 Variasi Penelitian 2

Variasi pH	Variasi rasio molar $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$				
	1:1	1:5	1:10	1:15	1:20
pH optimum	A1	A2	A3	A4	A5

Pada tahap ini dilakukan netralisasi (Gambar 3.6) terhadap residu proses Fenton (effluent) yang diatur pada pH optimum pada penelitian pendahuluan, dengan waktu waktu reaksi netralisasi selama 120 menit. Konsentrasi besi dan  $\text{H}_2\text{O}_2$



Gambar 3.6 Gambaran Netralisasi Residu Fenton

berkurang selama berjalannya waktu. Pada netralisasi ini digunakan reaktor uji *beaker glass* berukuran 2000 ml. Reaktor uji ditempatkan di *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm selama 120 menit. Analisis besi dilakukan dengan metode spektrofotometri dan hidrogen peroksida menggunakan metode metavanadate.

### 3.8 Analisis Parameter

Parameter yang dianalisis pada penelitian ini, antara lain: BOD effluen, COD, pH, klorida, besi, dan hydrogen peroksida.

1. Analisis BOD

Analisis parameter BOD yaitu pengukuran selama 5 hari yang mengacu pada *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995)*. Analisis BOD ini dilakukan di akhir dalam waktu 240 menit pengolahan Fenton.

2. Analisis COD

Analisis parameter COD awal mengacu pada *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995). Analisis COD dilakukan dengan metode *closed reflux* dengan Kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) sebagai sumber oksigennya.

3. Analisis pH

Analisis pH awal pada lindi digunakan sebagai penentuan dosis asam atau basa yang ditambahkan saat perlakuan metode Fenton untuk mengkondisikan lindi pada pH tertentu sehingga metode Fenton dapat berlangsung secara optimum. Pengkondisian nilai pH lindi dilakukan dengan menambahkan  $H_2SO_4$  atau NaOH sesuai kebutuhan. Analisis nilai pH menggunakan alat pH meter.

4. Analisis klorida ( $Cl^-$ )

Analisa klorida lindi dilakukan dengan Argentometri Mohr yaitu analisis klorida dengan cara menitrasi larutan garam alkali (contoh: NaCl) dan kalium kromat ( $K_2CrO_4$ ) dengan titran perak nitrat ( $AgNO_3$ ).

5. Analisis besi (Fe)

Analisa besi lindi dilakukan dengan metode spektrofotometri yaitu analisis besi dengan cara pembacaan sampel lindi dengan spektrofotometer yang sebelumnya sudah ditambahkan *Hydroxylamine* ( $NH_2OH.HCl$ ), HCl, *Ammonium Acetate Buffer* ( $NH_4C_2H_3O_2$ ) dan *Phenanthroline Monohydrate* dengan panjang gelombang 510  $\mu m$ .

6. Analisis  $H_2O_2$

Analisis  $H_2O_2$  yang dilakukan menggunakan metode metavanadate yang mengacu pada Nogueira *et al.*, (2015). Selanjutnya pengukuran  $H_2O_2$  dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang 450 nm.

### 3.9 Hasil dan Pembahasan

Pada sub bab ini, seluruh hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, maupun bentuk deskriptif. Data hasil penelitian yang dibahas pada sub bab ini, antara lain:

1. Analisis pengaruh rasio molar  $[Fe^{2+}] : [H_2O_2]$  proses Fenton dalam pengolahan lindi.

2. Analisis nilai pH dan COD selama proses Fenton dalam pengolahan lindi.
3. Analisis efisiensi pengolahan lindi dengan proses Fenton.
4. Analisis efisiensi pengolahan residu proses Fenton dalam menurunkan konsentrasi besi dan hidrogen peroksida.

Pembahasan hasil penelitian juga diacu dari hasil penelitian terdahulu, sehingga didapatkan metode pengolahan lindi menggunakan Fenton yang lebih efisien.

### **3.10 Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan dan saran disusun berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan. Kesimpulan yang diberikan merupakan jawaban dari rumusan masalah dan tujuan penelitian. Kesimpulan pada penelitian ini efisiensi pengolahan lindi menggunakan metode Fenton. Kesimpulan penelitian ini juga memberikan nilai efisiensi pengolahan lindi menggunakan metode Fenton dengan memvariasikan rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$  dan pH. Saran diberikan untuk penelitian selanjutnya, sehingga dapat mengurangi tingkat kesalahan dan meningkatkan efisiensi penelitian.



## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

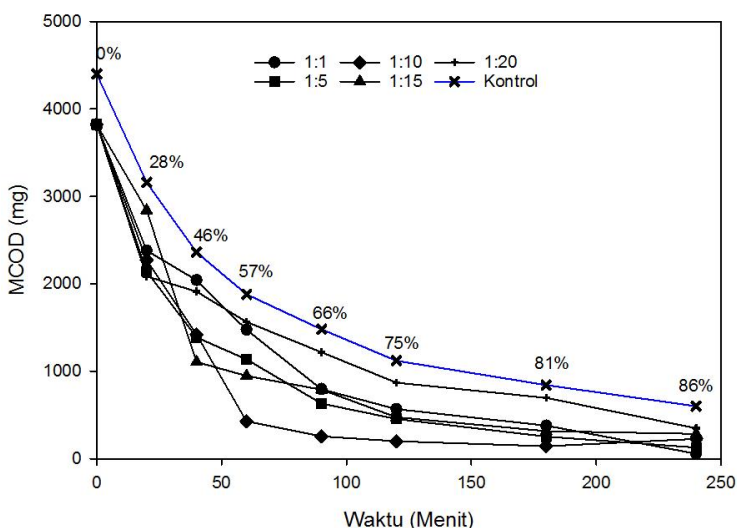
#### **4.1 Penelitian Pendahuluan**

Tahap penelitian pendahuluan ini dilakukan untuk menentukan waktu pengolahan lindi menggunakan metode Fenton. Pada tahap ini, melakukan karakterisasi lindi TPA Ngipik, Gresik. Karakterisasi yang dilakukan yaitu melakukan analisis COD, BOD, pH, klorida ( $\text{Cl}^-$ ), besi ( $\text{Fe}^{2+}$ ), dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Analisis COD lindi awal digunakan sebagai penentuan jumlah  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan dalam penelitian proses Fenton yang dapat dilihat pada Lampiran 3. Sehingga dalam hal ini ditentukan rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$  yaitu 1:1, 1:5, 1:10, 1:15, dan 1:20 dengan pH 3, 4, dan pH asli. Dalam tiap rasio molar tersebut, dilakukan analisis pH dan COD untuk mengetahui efisiensi pengolahan pada menit ke 0, 20, 40, 60, 90, 120, 180, dan 240.

Selain itu, dilakukan analisis besi dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  untuk mengetahui residu besi dan hidrogen peroksida yang tersisa selama pengolahan pada menit ke 120 dan 240 dengan membaca absorbansinya dengan kurva kalibrasi yang terdapat pada Lampiran 4. Penelitian pendahuluan dilakukan pada lindi tanpa penambahan NaCl dan dengan penambahan NaCl. Penambahan NaCl dapat berfungsi sebagai koagulan, dimana  $\text{Fe}^{3+}$  bereaksi dengan NaCl membentuk  $\text{FeCl}_3$ . Dalam subbab ini dijabarkan proses Fenton tanpa penambahan NaCl dan dengan penambahan NaCl, dengan hasil dari tahap penelitian ini ditampilkan dalam bentuk grafik.

Pengolahan awal dilakukan pada 20 menit pertama (menit ke 20, 40, dan 60) di mana menurut Zhang *et al.* (2005) COD efisiensi removal signifikan pada 20 menit pertama. Dalam penelitian ini, didapatkan hasil rata-rata kenaikan efisiensi removal pada menit ke-20, 40, dan 60 yaitu 10%, 20%, dan 25%. Selanjutnya dilakukan pada tiap 30 menit (menit ke 90 dan 120), yang dilakukan untuk mengetahui efisiensi removal pada tiap 30 menit menurut Singh (2013) yang menyatakan bahwa terjadi kenaikan efisiensi removal yang signifikan hingga mencapai 20%. Akan tetapi, dalam penelitian ini, pada menit ke 90 efisiensi removal rata-rata yaitu 13% dan mengalami penurunan pada

menit ke 120 yaitu 7%. Kemudian dilakukan pada tiap 60 menit (menit ke 180 dan 240). Hal ini dilakukan karena pada menit ke 120, COD belum mencapai target baku mutu yaitu 300 mg/L sehingga waktu reaksi diperpanjang hingga menit ke 240. Pada menit ke-240, nilai COD rata-rata yang didapatkan yaitu 300 mg/L. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, nilai COD sebesar 300 mg/L sudah dapat dibuang ke badan air.

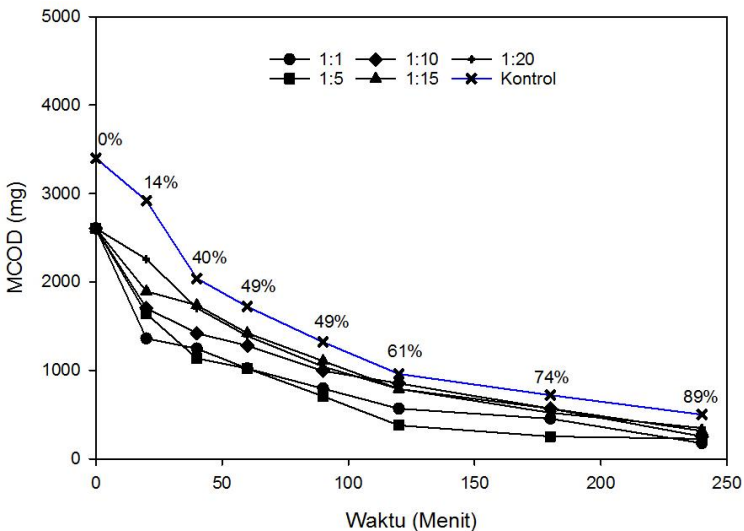


Gambar 4.1 Penurunan COD Lindi pH Asli tanpa NaCl

Pada Gambar 4.1 hingga 4.6. Gambar tersebut menunjukkan penurunan COD lindi terhadap waktu dalam 3 kondisi pH yaitu pH asli lindi, pH 3, dan pH 4, kemudian dapat ditentukan waktu pengolahan Fenton yang optimum sehingga COD dapat memenuhi baku mutu lindi yaitu PermenLHK No. 59 Tahun 2016 sebesar 300 mg/L. Dari hasil pengamatan diketahui bahwa menit ke 240, COD lindi rata-rata mencapai 300 mg/L. Sehingga ditetapkan waktu pengolahan lindi dengan proses

Fenton selama 240 menit, dengan menit pengambilan sampel yaitu 20, 40, 60, 90, 120, 180, dan 240. Sampel yang diambil dari hasil pengolahan sebanyak 55 mL.

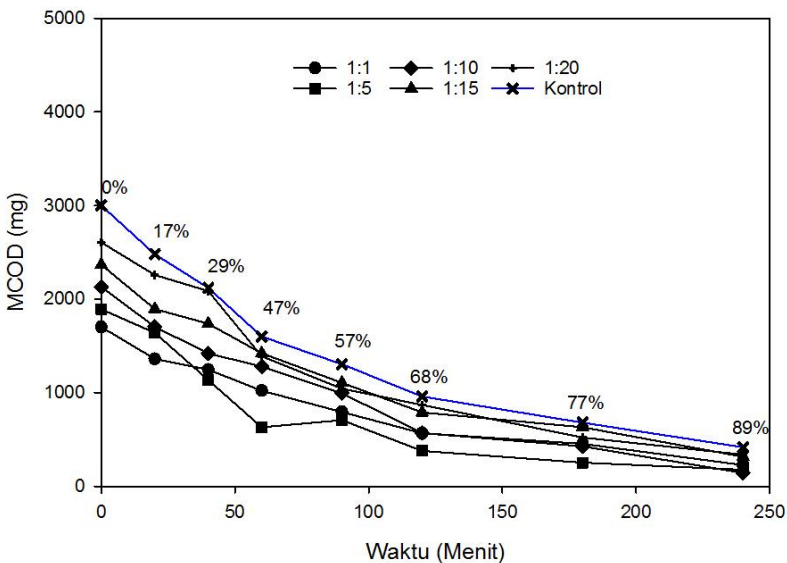
Kemudian dari hasil penurunan COD, dihitung efisiensi pengolahan dari tiap rasio dan pH. Dalam penelitian ini, pengambilan waktu pengolahan tersebut berdasarkan hasil penelitian Singh (2013) yang menyatakan bahwa efek dari perbedaan waktu reaksi yang mempengaruhi COD removal yaitu pada menit ke 240. Penurunan COD lindi pada pH asli tanpa penambahan NaCl (Gambar 4.1) menunjukkan pada menit ke 240 rata-rata mencapai 86% dengan penurunan paling tinggi terjadi pada rasio 1:1 sebesar 86%. Dibandingkan dengan rasio molar yang lain, rasio 1:1 lebih bisa mendegradasi COD lindi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi hidrogen peroksida tidak selalu meningkatkan oksidasi, sehingga diperlukan dosis optimum hidrogen peroksida untuk mengetahui tingkat oksidasi dalam proses Fenton (Cortez, 2011).



Gambar 4.2 Penurunan COD Lindi pH 3 tanpa NaCl

Penurunan COD lindi pada pH 3 tanpa penambahan NaCl (Gambar 4.2) menunjukkan pada menit ke 240 rata-rata

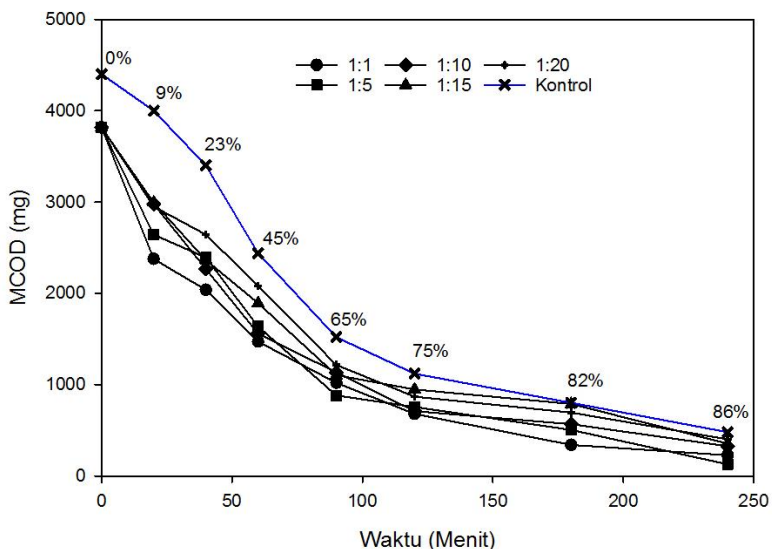
mencapai 86% dengan penurunan paling tinggi terjadi pada rasio 1:1 sebesar 86%. Hal ini menunjukkan bahwa pada rasio 1:1 lebih cepat dalam mendegradasi organik pada lindi. Sedangkan pada penurunan COD pH 4 tanpa penambahan NaCl (Gambar 4.3), rata-rata efisiensinya sebesar 89%, sama dengan pH asli dan pH 3, terjadi pada menit ke 240 dan rasio 1:1. Tetapi jika dibandingkan dengan pH asli, pada pH 3 dan 4 penurunannya lebih cepat dengan efisiensi yang lebih tinggi. Hal ini karena pada pH di bawah 5 (3 dan 4), Fenton lebih mudah bereaksi sehingga lebih cepat dalam penurunan COD. Modifikasi reagen Fenton ( $\text{Fe}^{2+} : \text{H}_2\text{O}_2$ ) berfungsi dalam pelepasan zat organik (Deng and Englehardt, 2006).



Gambar 4. 3 Penurunan COD Lindi pH 4 tanpa NaCl

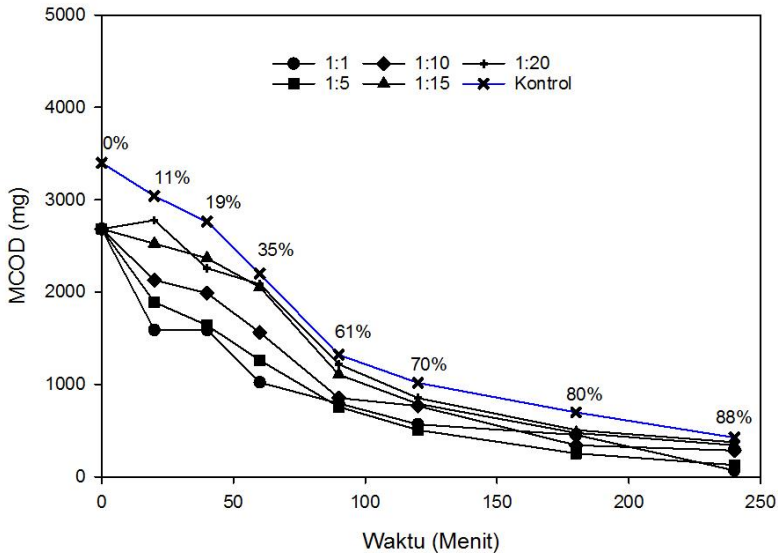
Umumnya, reagen Fenton ditambahkan ke lindi dalam satu langkah. Pada penelitian ini penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dilakukan secara perlahan-lahan. Karena apabila penambahan dilakukan secara langsung, dapat menyebabkan dekomposisi  $\text{H}_2\text{O}_2$  karena konsentrasi tinggi dan menghasilkan hidroksil radikal ( $\text{OH}^*$ ) oleh

sejumlah besar hidrogen peroksida (Deng dan Englehardt, 2006). Hidroksil radikal merupakan radikal bebas yang paling reaktif yang membantu dalam proses oksidasi organik dalam pengolahan lindi dengan menggunakan metode Fenton. Pada Gambar 4.1-4.6 dapat disimpulkan penambahan reagen Fenton secara bertahap dapat meningkatkan removal COD dimana bertambah seiring penambahan reagen Fenton (Yoo *et al.*, 2001). Pada penelitian ini, digunakan 5 rasio yaitu 1:1, 1:5, 1:10, 1:15, dan 1:20, yang dalam hal ini dilakukan variasi penambahan  $H_2O_2$ .



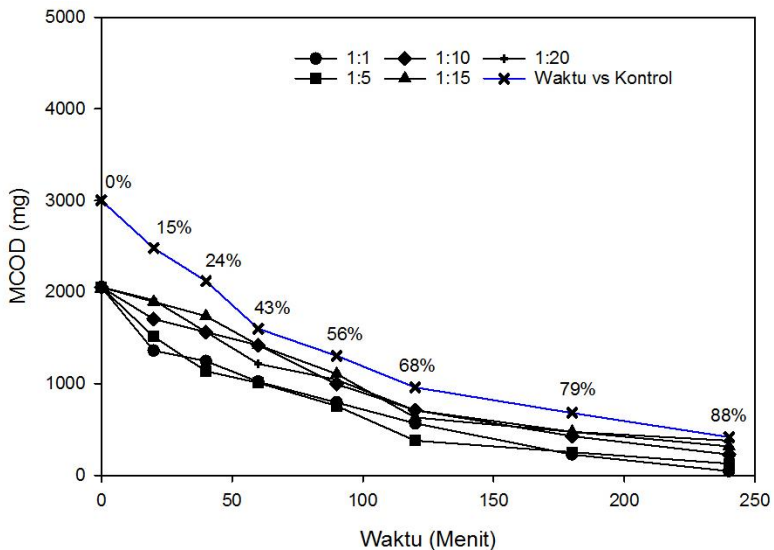
Gambar 4. 4 Penurunan COD Lindi pH Asli dengan NaCl

Pada penambahan NaCl di lindi dengan pH asli (Gambar 4.4), menunjukkan hasil pada menit ke 240, efisiensi penurunan COD mencapai 86%. Sehingga, dibandingkan dengan penurunan COD tanpa penambahan NaCl lebih kecil. Hasil penelitian pada pH 3 dengan penambahan NaCl (Gambar 4.5), penurunan COD mencapai 88% pada menit ke 240, sedangkan pada pH 4 mencapai 88%, di mana lebih rendah dibandingkan dengan penurunan COD tanpa penambahan NaCl (Gambar 4.1 – 4.3).



Gambar 4. 5 Penurunan COD Lindi pH 3 dengan NaCl

Penambahan NaCl berpengaruh dalam proses Fenton (Gambar 4.4 – 4.6), yaitu dilihat dari efisiensi removal COD, walau mengalami peningkatan, namun peningkatannya berjalan lambat jika dibandingkan dengan lindi tanpa penambahan NaCl. Terlihat pada menit ke 20, 40, dan 60 yang terjadi lambat (penurunan rata-rata mencapai 5%). Selain mempengaruhi dalam efisiensi penurunan COD, NaCl juga berpengaruh pada efisiensi warna lindi setelah pengolahan (Ledakowicz, 2000). Keberadaan konsentrasi ion  $\text{Cl}^-$  dalam pengolahan dan reaksi dengan  $\text{OH}^\cdot$  radikal menghasilkan  $\text{Cl}_2$  di mana tidak lebih oksidatif jika dibandingkan dengan  $\text{OH}^\cdot$  radikal. Selain itu, terbentuknya  $\text{HOCl}$  juga dapat menghambat penurunan dari nilai COD. Dari hasil penurunan COD, pada menit ke 240 sebagian sudah memenuhi baku mutu lindi yaitu 300 mg/L (Permen LHK, 2016). Sehingga waktu pengolahan ditentukan selama 240 menit (4 jam).

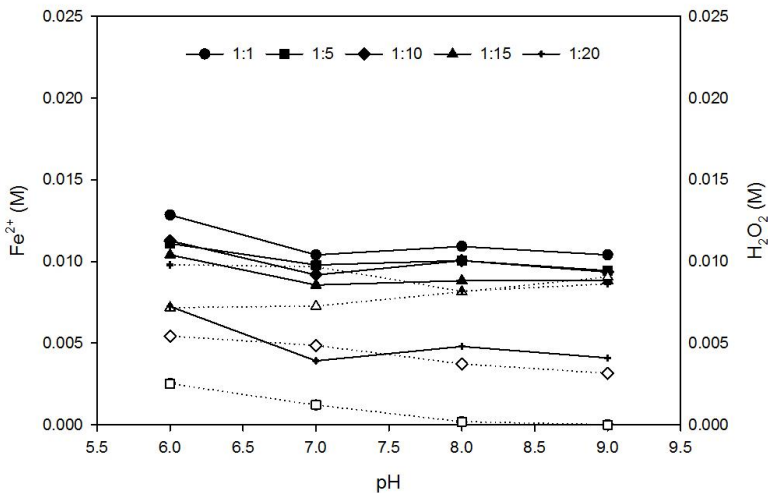


Gambar 4. 6 Penurunan COD Lindi pH 4 dengan NaCl

Selanjutnya dilakukan analisis besi terlarut (mg/L) dan hidrogen peroksida (mg/L) (Gambar 4.7-4.12). Menurut penelitian Yoo *et al.*, (2001) menunjukkan terjadi penurunan konsentrasi besi terlarut dan kenaikan konsentrasi hidrogen peroksida pada tiap rasio molar. Hal ini juga ditunjukkan pada hasil penelitian, di mana rata-rata nilai besi terlarut dan hidrogen peroksida (mg/L) yaitu 2,14 mg/L dan 0,49 mg/L. Menurut Schmidt, et al. (2006), konsentrasi  $H_2O_2$  di bawah 0,7 mg/L dalam perairan tidak akan menjadi ancaman bagi organisme air dan lingkungan. Sedangkan kadar besi yang aman bagi organisme air menurut Moore (1991) yaitu kadar besi tidak lebih dari 1 mg/L.

Pengolahan dilakukan dengan netralisasi yaitu menambahkan NaOH sebagai pH *adjustment* dari pH awal setelah pengolahan Fenton. Selain itu, tujuan dari penambahan NaOH juga untuk menghentikan reaksi Fenton yang terjadi (Cortez, 2011). Dalam penelitian pendahuluan, dilakukan penentuan waktu netralisasi residu Fenton dengan mengatur pH 6-9. Pengambilan sampel dilakukan pada menit ke 120. Dalam penelitian, residu Fenton tanpa NaCl (Gambar 4.7 – 4.9)

menunjukkan hasil bahwa kadar besi masih melebihi 0,7 mg/L (Lampiran 6), oleh karena itu diperlukan pengolahan sehingga tidak mengganggu organisme air dan lingkungan. Selain kadar besi, terlihat juga kadar hidrogen peroksida rata-rata mencapai 0,8 mg/L. Hal ini bisa menyebabkan pencemaran pada badan air apabila limbah hasil pengolahan langsung dibuang. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan yang dapat mengurangi kadar dari besi dan hidrogen peroksida.

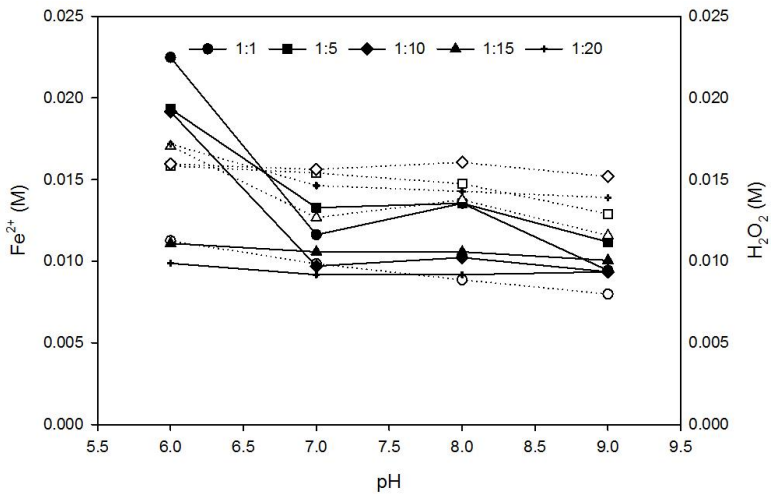


Gambar 4.7 Residu Fenton pH Asli Tanpa NaCl

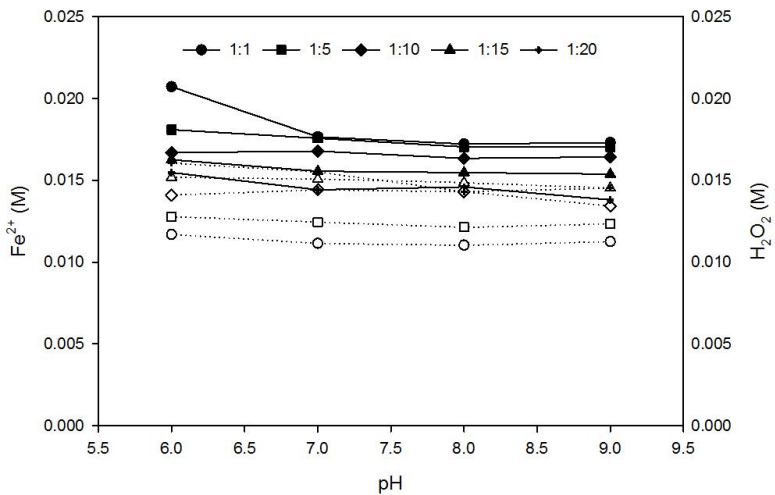
Dalam penelitian, residu Fenton tanpa NaCl (Gambar 4.7 – 4.9) menunjukkan hasil bahwa kadar besi masih melebihi 0,7 mg/L (Lampiran 6), oleh karena itu adanya netralisasi untuk menurunkan kadar residu sehingga tidak mengganggu organisme air dan lingkungan. Selain kadar besi, terlihat juga kadar hidrogen peroksida rata-rata mencapai 0,8 mg/L. Pada residu Fenton dengan penambahan NaCl, hasil menunjukkan bahwa pada pH asli (Gambar 4.10) kadar besi rata-rata sebesar 0,54 mg/L (0,01 M) dan hidrogen peroksida rata-rata 0,28 mg/L (0,008 M). Hal ini menunjukkan bahwa kadar tersebut masih di bawah baku mutu yang ada. Akan tetapi, keberadaan residu ini dapat menghambat



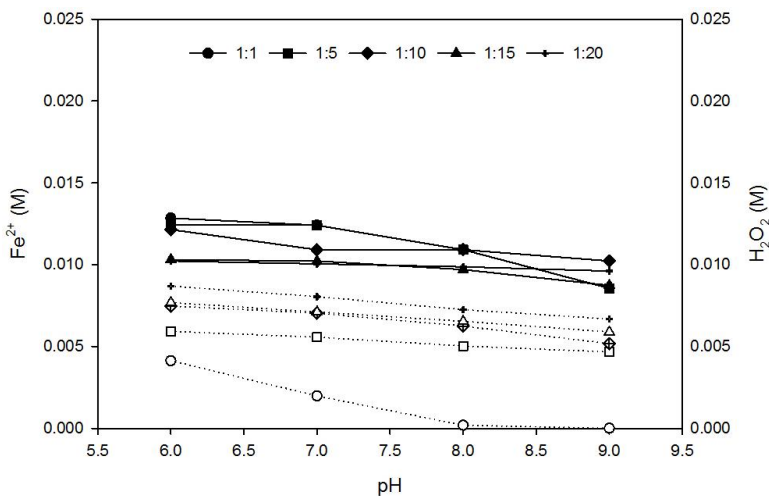
proses pengolahan sehingga tetap dilakukan pengolahan untuk menurunkan kadar tersebut.



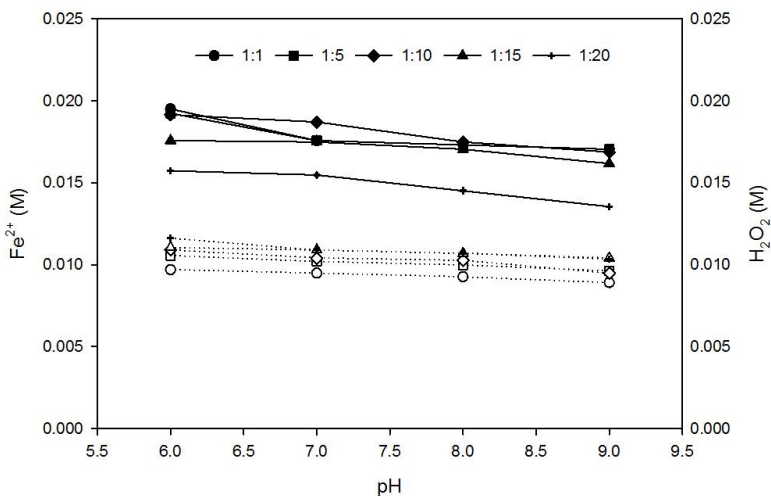
Gambar 4.8 Residu Fenton pH 3 Tanpa NaCl



Gambar 4.9 Residu Fenton pH 4 Tanpa NaCl



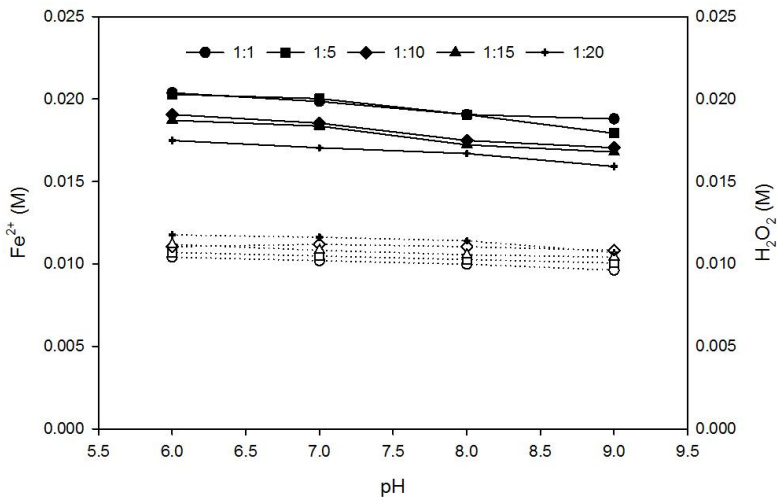
Gambar 4.10 Residu Fenton pH Asli Dengan NaCl



Gambar 4.11 Residu Fenton pH 3 Dengan NaCl

Pada residu Fenton dengan penambahan NaCl, hasil menunjukkan bahwa pada pH asli (Gambar 4.10) kadar besi rata-rata sebesar 0,54 mg/L (0,01 M) dan hidrogen peroksida rata-rata

0,28 mg/L (0,008 M). Hal ini menunjukkan bahwa kadar tersebut masih di bawah baku mutu yang ada, karena keberadaan residu ini dapat menghambat proses pengolahan lindi. Pada residu Fenton dengan penambahan NaCl, hasil menunjukkan bahwa pada pH 3 dan pH 4 (Gambar 4.11 dan Gambar 4.12), masing-masing kadar besi rata-rata sebesar 0,96 mg/L (0,017 M) dan hidrogen peroksida rata-rata 0,35 mg/L (0,01 M), serta 1,02 mg/L (0,018 M) kadar besi dan hidrogen peroksida rata-rata 0,36 mg/L (0,11 M) pada pH 4. Hal ini menunjukkan bahwa kadar tersebut berada melebihi baku mutu yang ada. Sehingga dibutuhkan *treatment* untuk menurunkan kadar tersebut karena dapat mengganggu proses pengolahan.



Gambar 4.12 Residu Fenton pH 4 Dengan NaCl

Berdasarkan penelitian, pada proses netralisasi, semakin lama waktu dekomposisi  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  (residu) yang menyebabkan nilai  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  semakin kecil. Dalam netralisasi dipengaruhi juga dengan nilai pH. Terlihat bahwa dalam penelitian ini, pH 9 lebih dominan dalam pengurangan konsentrasi tersebut. Hal ini juga didukung dari penelitian Yunaz (2015), bahwa semakin besar nilai pH dalam netralisasi, semakin besar pula efisiensi removal nilai besi terlarut dan hidrogen peroksida. Prosentase rata-rata removal proses netralisasi residu

Fenton untuk pengurangan konsentrasi besi terlarut dan hidrogen peroksida pada yaitu sebesar 78% dan 62%.

Selain itu, hasil pengolahan lindi dengan Fenton juga menunjukkan perubahan warna dari warna awal berwarna kehitaman menjadi coklat bening (Gambar 4.13). Perubahan warna ini disebabkan kekeruhan yang diakibatkan oleh endapan besi setelah proses netralisasi yang tidak disetorkan secara sempurna. Proses presipitasi diaduk oleh gelembung gas oksigen dari dekomposisi  $H_2O_2$  yang tersisa dalam larutan. Ada peningkatan nilai absorbansi dengan kenaikan besi terlarut dalam sampel Fenton setelah proses netralisasi. Meskipun demikian, warna sebenarnya dari air limbah telah dikeluarkan, menunjukkan bahwa konsentrasi senyawa organik paling banyak mengalami penurunan. Perbedaan warna tidak terlihat jelas pada tiap menit, kecuali pada menit ke-0 ke menit ke-20. Akan tetapi, larutan semakin tidak berwarna dengan semakin besarnya rasio yang digunakan (Gambar 4.14).



Gambar 4.13 Lindi Pengolahan Rasio 1:1 pH 3 Dengan NaCl



Gambar 4.14 Lindi Pengolahan Rasio 1:20 pH 3 Dengan NaCl

## 4.2 Proses Fenton pada Lindi

Pengolahan dengan Fenton ini dilakukan pada lindi sebanyak 2L yang dimasukkan pada beaker glass berukuran 2L. Sebelumnya pada penelitian pendahuluan dilakukan karakterisasi lindi yaitu analisis COD dengan COD sebesar 4400 mg/L. Nilai COD digunakan untuk menentukan banyaknya  $H_2O_2$  yang

dibutuhkan. Menurut Kang and Hwang (2000), kebutuhan  $\text{H}_2\text{O}_2$  2,12 mg/L untuk mengoksidasi 1 mg/L COD, dengan perhitungan konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi } \text{H}_2\text{O}_2 &= \text{Konsentrasi COD} \times 2,12 \\ \text{Molar } \text{H}_2\text{O}_2 &= \frac{\text{Konsentrasi } \text{H}_2\text{O}_2}{\text{Berat Molekul } \text{H}_2\text{O}_2} \end{aligned}$$

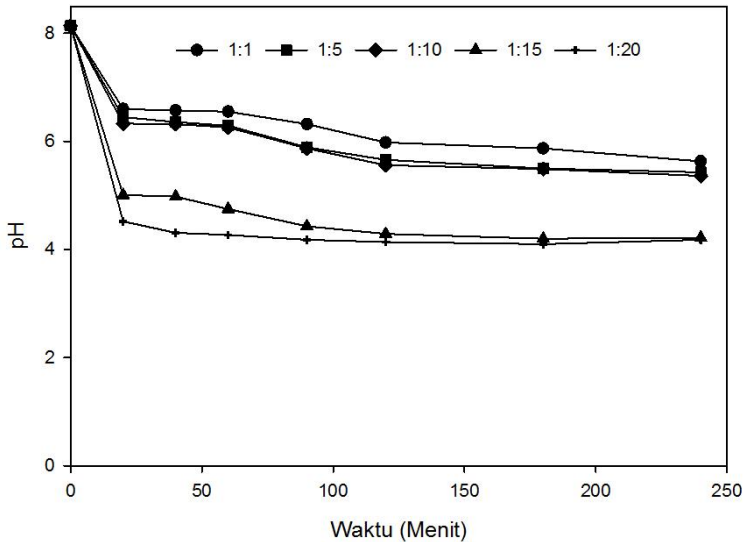
Sehingga, kebutuhan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dapat diketahui. Perhitungan kebutuhan  $\text{H}_2\text{O}_2$  terdapat pada Lampiran 3.

Pada awal pengolahan, lindi dikondisikan pada 3 pH, yaitu pH asli lindi, pH 3, dan pH 4. Untuk mengkondisikan pH ke pH 3-4, ditambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  96% (w/w). Prosedur pengaturan pH dapat dilihat pada Lampiran 2. Langkah dalam penelitian ini yaitu menambahkan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% yang ditambahkan secara perlahan-lahan. Untuk lindi dengan pH 3 dan pH 4 sebelumnya ditambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Penentuan waktu reaksi dilakukan di penelitian pendahuluan, di mana pengolahan dilakukan selama 240 menit dengan pengambilan sampel pada menit ke 0, 20, 40, 60, 90, 120, 180, dan 240. Pengolahan dilakukan tanpa ada cahaya (*dark Fenton*) dengan melapisi *beaker glass* dengan aluminium foil.  $T_0$  dihitung setelah penambahan reagen Fenton, selanjutnya dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm. Fungsi *magnetic stirrer* yaitu untuk melakukan pengadukan sehingga larutan menjadi homogeny. Setelah dilakukan pengadukan dan pengambilan sampel pada tiap waktu yang ditentukan, selanjutnya melakukan analisis terhadap sampel dengan mengambil supernatannya. Analisis yang dilakukan yaitu COD, besi terlarut, hidrogen peroksida, klorida, dan  $\text{BOD}_5$ . Analisis dilakukan pada tiap rasio molar untuk menemukan rasio yang optimum.

Pada tahap ini dilakukan analisis berupa nilai pH, COD, besi terlarut (mg/L), hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), klorida ( $\text{Cl}^-$ ) dan  $\text{BOD}_5$  effluent. Pada tahap penelitian utama ini dapat diperoleh hasil yaitu efisiensi pengolahan lindi dengan berdasarkan penurunan konsentrasi  $\text{BOD}_5$ , COD, besarnya rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2]$  dan pH serta mendapatkan nilai  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  setelah pengolahan.

### 1. Pengukuran pH Lindi Setelah Pengolahan

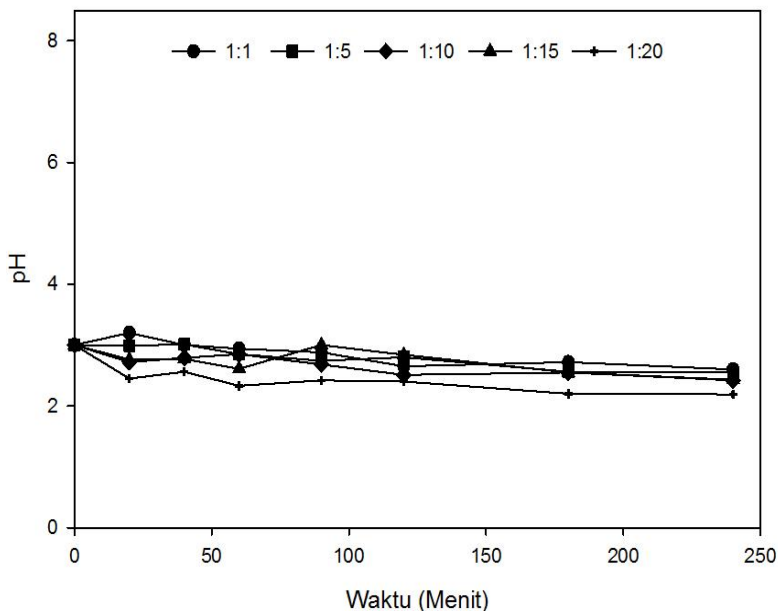
Parameter pH diukur pada setiap pengambilan sampel di menit ke 20, 40, 60, 90, 120, 180, dan 240 menggunakan pH meter. Menurut Sivan and Latha (2013), *mature* lindi memiliki pH basa. Lindi yang digunakan dalam penelitian merupakan *mature* lindi yang memiliki pH lindi sebesar 8,14.



Gambar 4.15 pH Lindi pada Pengolahan pH Asli Tanpa NaCl

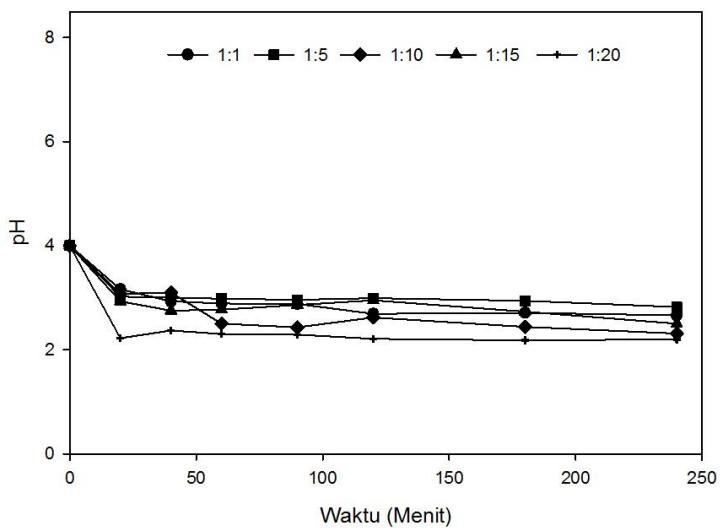
Menurut Hasil pengukuran pH pada tiap rasio molar dapat dilihat pada Gambar 4.13 hingga 4.15. Hasil penelitian Kang dan Hwang (2000) pH setelah pengolahan Fenton yaitu antara 2,0 - 9,0 dan COD efisiensi removal optimum terjadi pada pH 3,0–6,0. Berdasarkan Gambar 4.11 hingga 4.13 diketahui bahwa nilai pH lindi hasil pengolahan adalah sekitar 4,18 - 6,60. Menurut Meeker (1965), perubahan pH yang terjadi dipengaruhi oleh  $H_2O_2$  yang secara cepat terdekomposisi menjadi air dan oksigen sehingga meningkatkan pH menjadi diatas 5.

Berdasarkan Gambar 4.15, pada menit ke-20 pH langsung mengalami penurunan yang drastis. Hal ini disebabkan pada menit ke-0 belum terjadi pengadukan yang homogen. Selain itu juga karena adanya penambahan  $H_2O_2$  dalam jumlah yang banyak. Pada Gambar 4.16 dan 4.17 pH pengolahan lebih stabil jika dibandingkan dengan Gambar 4.11 karena penurunan tidak drastis.

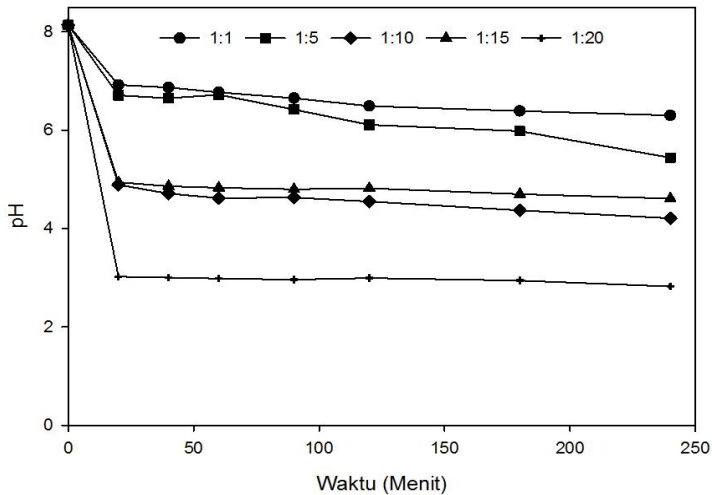


Gambar 4.16 pH Lindi pada Pengolahan pH 3 Tanpa NaCl

Berdasarkan Gambar 4.15 hingga 4.17, pH yang dihasilkan rata-rata memiliki sifat asam. Hal ini karena sifat dari reagen Fenton tergolong asam, yaitu  $H_2O_2$ . Pada Gambar 4.16 dan 4.17 pH pengolahan lebih stabil karena proses Fenton terjadi antara pH 2-4, sehingga tidak terjadi perubahan signifikan pada pH *adjustment* 3 dan 4. Oleh karena itu, nilai pH awal harus berada dalam kisaran asam (2-4) untuk menghasilkan jumlah maksimum  $OH^\bullet$  untuk mengoksidasi senyawa organik (Kavitha, 2005).



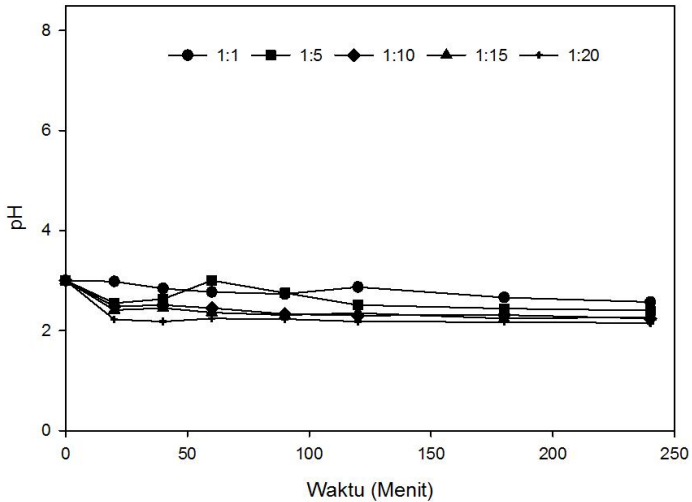
Gambar 4.17 pH Lindi pada Pengolahan pH 4 Tanpa NaCl



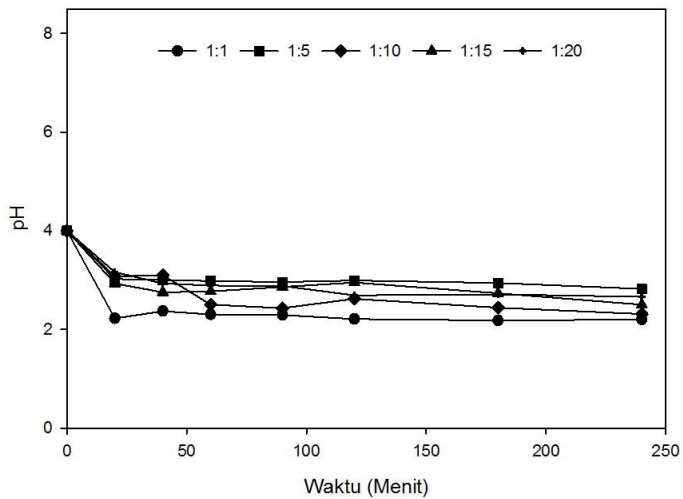
Gambar 4.18 pH Lindi pada Pengolahan pH Asli Dengan NaCl



Pada pH pengolahan dengan penambahan NaCl, terlihat bahwa pada pH asli (Gambar 4.18), memiliki nilai pH yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan tanpa penambahan NaCl.



Gambar 4.19 pH Lindi pada Pengolahan pH 3 Dengan NaCl

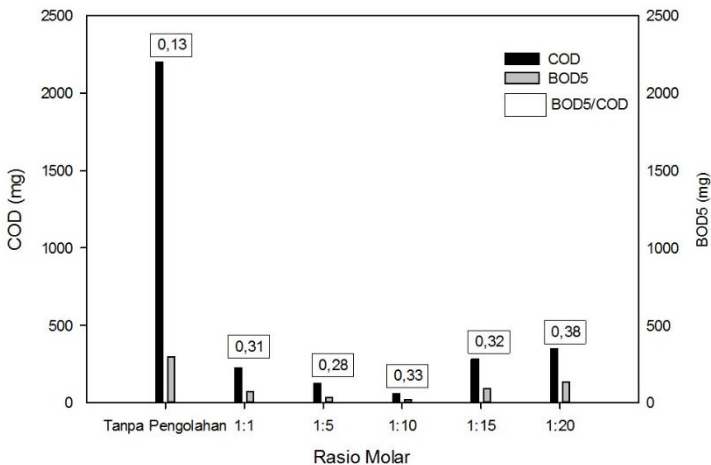


Gambar 4.20 pH Lindi pada Pengolahan pH 4 Dengan NaCl

Berdasarkan Gambar 4.15, nilai pH rata-rata yaitu 5,71, sedangkan Gambar 4.18 menunjukkan pH rata-rata sebesar 5,43, hal ini bisa terjadi karena adanya kemungkinan terbentuknya  $\text{FeCl}_2$  yang memiliki sifat asam dan adanya penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Sesuai dengan penelitian pada pH lindi 3 dan 4 tanpa adanya NaCl, pH lindi 3 dan 4 dengan penambahan NaCl juga memiliki pH yang tergolong rendah dan asam (Gambar 4.19 dan 4.20).

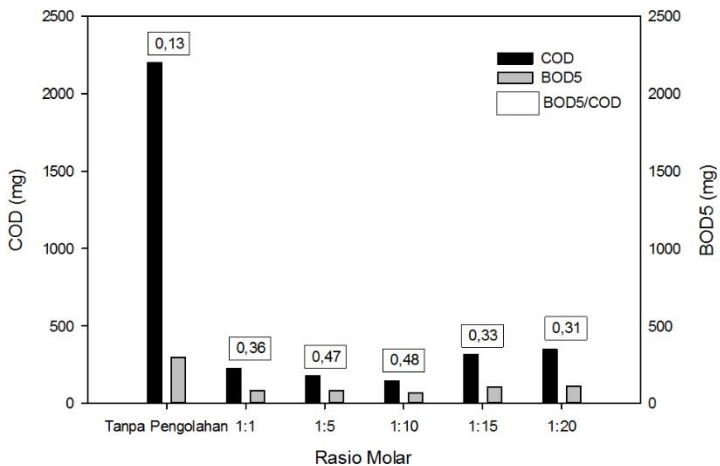
## 2. BOD<sub>5</sub>/COD Setelah Pengolahan

Selain pH, dilakukan analisis COD dan BOD<sub>5</sub>. Analisis COD dilakukan pada menit ke 0, 20, 40, 60, 90, 120, 180, dan 240, sedangkan BOD<sub>5</sub> hanya BOD<sub>5</sub> effluent pengolahan yaitu menit ke 240. Hasil pengolahan nilai BOD<sub>5</sub> secara keseluruhan mengalami peningkatan dari nilai awal sehingga tidak terdapat nilai efisiensi penyisihan BOD<sub>5</sub>. BOD<sub>5</sub> menggambarkan bahan organik yang dapat didekomposisi secara biologi. Keberadaan bahan-bahan toksik akan mengganggu kemampuan mikroba dalam mengoksidasi bahan organik (Effendi, 2003). Studi yang dilakukan Sururi (2014), menyebutkan senyawa  $\text{H}_2\text{O}_2$  diduga dapat berperan sebagai senyawa pengganggu terhadap pengukuran BOD<sub>5</sub>. Kehadiran  $\text{H}_2\text{O}_2$  berbahaya bagi kehidupan organisme, ketika jumlah  $\text{H}_2\text{O}_2$  berlebih (Kurniawan *et al.*, 2006).



Gambar 4.21 BOD<sub>5</sub>/COD pH Asli Tanpa NaCl

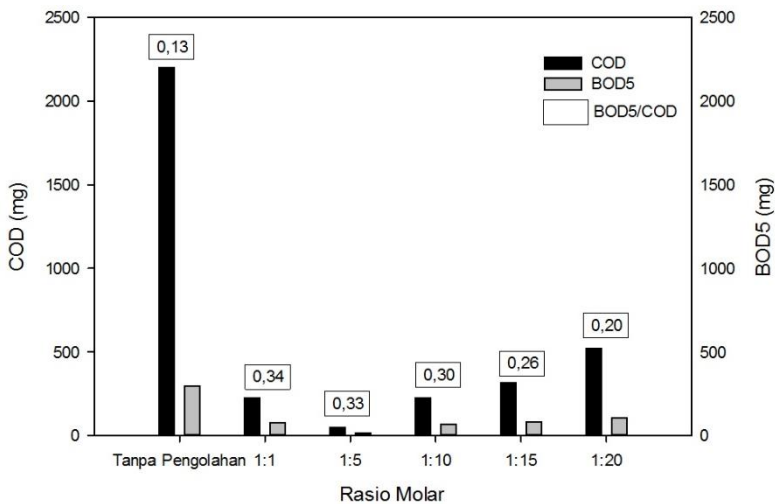
Perbandingan BOD<sub>5</sub>/COD dapat menunjukkan biodegradabilitas limbah. Banyak senyawa organik yang sulit dioksidasi secara biologi dan zat organik tertentu mungkin beracun untuk mikroorganisme yang digunakan dalam pengujian BOD<sub>5</sub> (Tchobanoglous, 2003). Menurut Naumczyk *et al* (2012), Perbandingan BOD<sub>5</sub>/COD dapat menunjukkan biodegradabilitas limbah. Lindi TPA Ngipik termasuk ke dalam lindi *mature*. BOD<sub>5</sub>/COD pada lindi *mature* antara 0,1 – 0,4, sedangkan pada penelitian ini, pada pH asli (Gambar 4.21), nilai BOD<sub>5</sub>/COD yang didapatkan setelah pengolahan antara 0,31 – 0,38. Hasil BOD<sub>5</sub>/COD pada lindi sebelum pengolahan yaitu sebesar 0,13.



Gambar 4.22 BOD<sub>5</sub>/COD pH 3 Tanpa NaCl

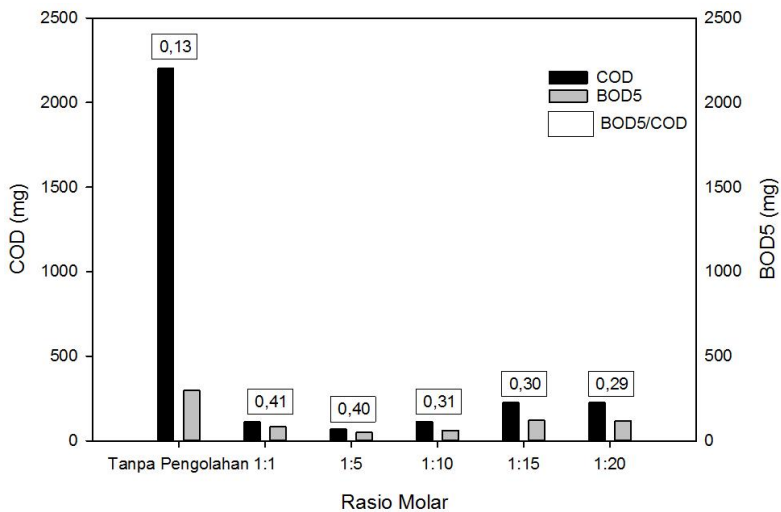
Berdasarkan Gambar 4.21 hingga 4.26 dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan nilai rasio BOD<sub>5</sub>/COD effluent setelah pengolahan. Hal ini terjadi karena adanya proses oksidasi yang terjadi pada metode Fenton, sehingga meningkatkan biodegradabilitas lindi. Biodegradabilitas lindi hasil pengolahan menunjukkan peningkatan dari 0,13 menjadi rata-rata 0,33. Nilai BOD<sub>5</sub>/COD tertinggi yang didapatkan pada pH 3 sebesar 0,48. Nilai rasio BOD<sub>5</sub>/COD yang melebihi 0,1 mengindikasikan bahwa lindi hasil pengolahan sudah *biodegradable*, sehingga bisa dilakukan

pengolahan lanjutan seperti pengolahan biologis. Hal ini juga terpengaruh konsentrasi  $H_2O_2$  pada pengukuran  $BOD_5$  dan COD sangat penting, namun tidak dipertimbangkan dalam semua proses. Sedangkan pada pH 3 (Gambar 4.22) dan pH 4 (Gambar 4.23), nilai  $BOD_5/COD$  yang didapatkan setelah pengolahan antara 0,20 – 0,34 dan 0,31 – 0,48. Adanya peningkatan mengindikasikan bahwa lindi dapat dilakukan pengolahan lanjutan secara biologis karena sudah bersifat *biodegradable*.

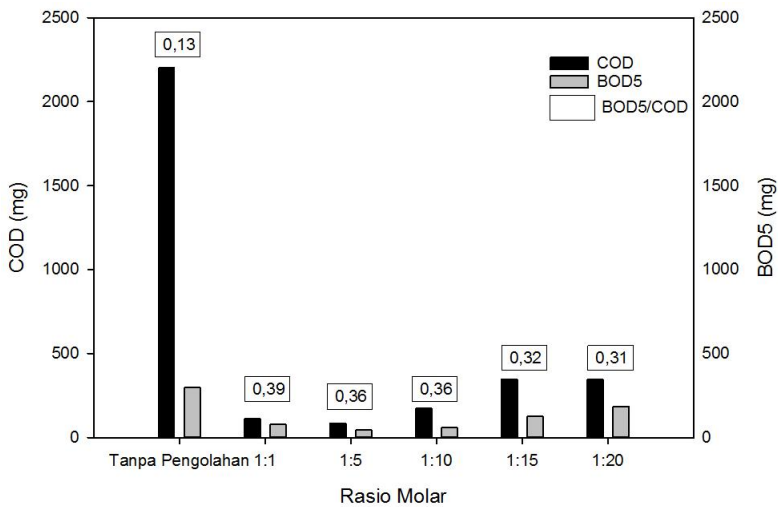


Gambar 4.23  $BOD_5/COD$  pH 4 Tanpa NaCl

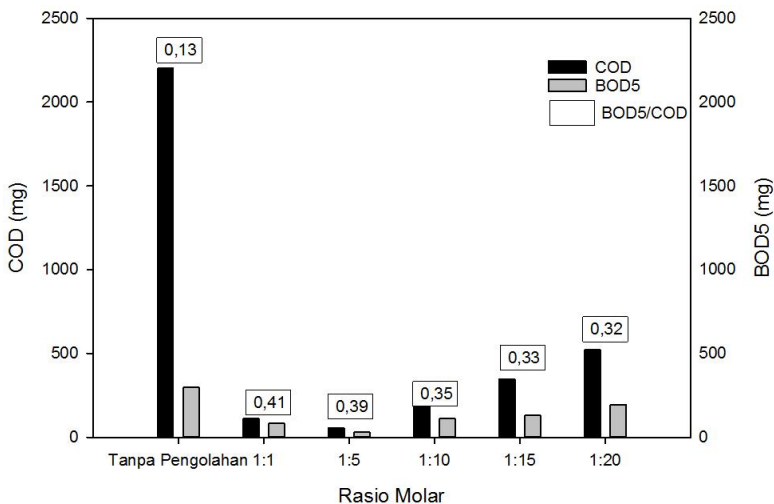
Pada analisis  $BOD_5/COD$  juga dilakukan pada lindi yang ditambahkan 1 gram NaCl (Gambar 4.17-4.18). Nilai  $BOD_5/COD$  setelah pengolahan pada pH asli, 3, dan 4 < 0,5 (Gambar 4.24 – 4.26) di mana mineralisasi dominan karena bereaksi tidak selektif, menghasilkan oksidasi bahan organik yang dapat terurai atau senyawa yang tidak dapat didegradasi.



Gambar 4.24 BOD<sub>5</sub>/COD pH Asli Dengan NaCl



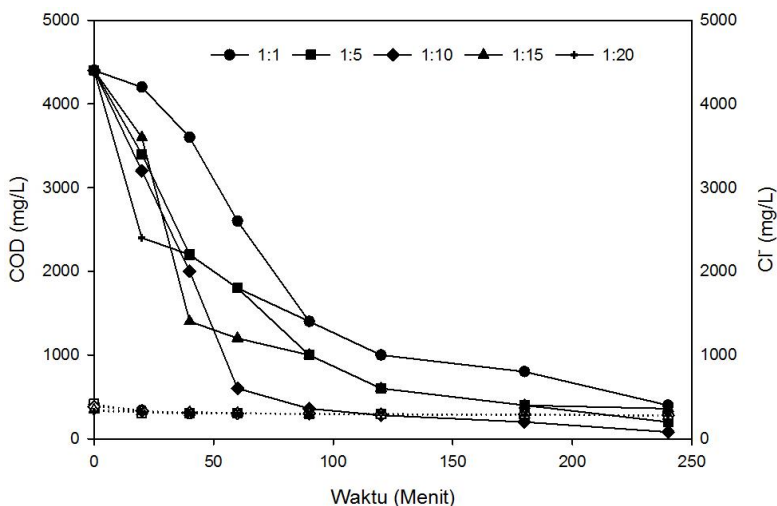
Gambar 4.25 BOD<sub>5</sub>/COD pH 3 Dengan NaCl



Gambar 4.26 BOD<sub>5</sub>/COD pH 4 Dengan NaCl

### 3. Hubungan Efisiensi Pengolahan COD dengan Klorida (Cl<sup>-</sup>)

Penambahan NaCl dapat berfungsi sebagai koagulan pada pengolahan. Hal ini karena NaCl dapat bereaksi dengan Fe<sup>3+</sup> membentuk FeCl<sub>3</sub> yang merupakan koagulan. Dosis klorida mempengaruhi pada reaksi reaction Fe<sup>2+</sup> dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> untuk membentuk *hydroxyl radicals* OH<sup>·</sup>. Selain itu juga mempengaruhi efisiensi removal pada COD pada lindi. Berdasarkan hasil penelitian (Gambar 4.17 – 4.19), pada saat tanpa penambahan NaCl, pada klorida diukur untuk mengetahui salinitas pada lindi, yang merupakan kadar garam terlarut dalam air. Sehingga pengukuran salinitas lindi TPA Ngipik dilihat dari jumlah berat total (gram) NaCl (konsentrasi NaCl) yang didapat dari pengukuran klorida. Pada penelitian ini, adanya penambahan NaCl berdampak pada penurunan nilai COD. Tanpa penambahan NaCl, penurunan COD lebih cepat dibandingkan lindi dengan penambahan NaCl. Hal ini karena penambahan NaCl kurang efisien dalam pengolahan COD lindi, dan adanya NaCl memperlambat proses pengolahan (Lampiran 5).



Gambar 4.27 Klorida terhadap COD pH Asli Tanpa NaCl

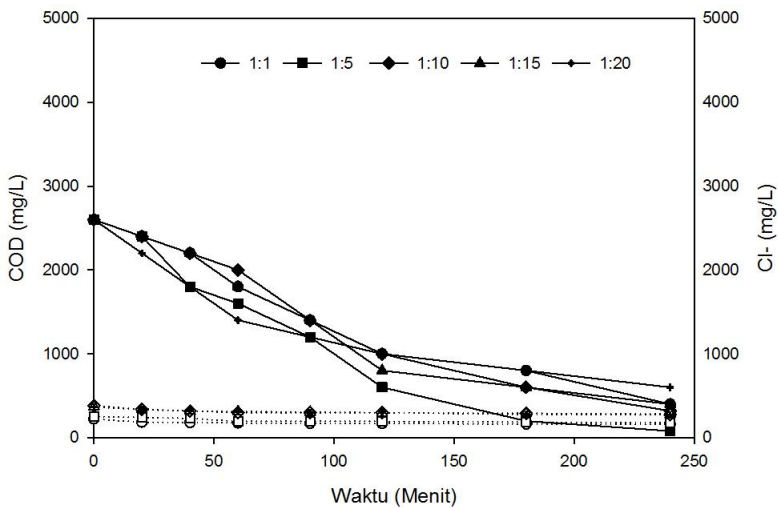
Hal ini dapat diketahui bahwa salinitas menghambat proses penurunan COD pada lindi. NaCl berpengaruh pada efisiensi warna lindi setelah pengolahan (Ledakowicz, 2000). Terhambatnya penurunan COD ini karena terbentuknya HOCl yang keberadaan konsentrasi ion  $\text{Cl}^-$  dalam pengolahan dan reaksi dengan OH radikal dapat menghasilkan  $\text{Cl}_2$  di mana tidak lebih oksidatif jika dibandingkan dengan OH radikal. HOCl terbentuk pada pH 2-4, sehingga dapat berlaku dalam penelitian di mana memiliki pH di bawah 5. Mekanisme dalam lindi saat penambahan NaCl sebagai berikut :



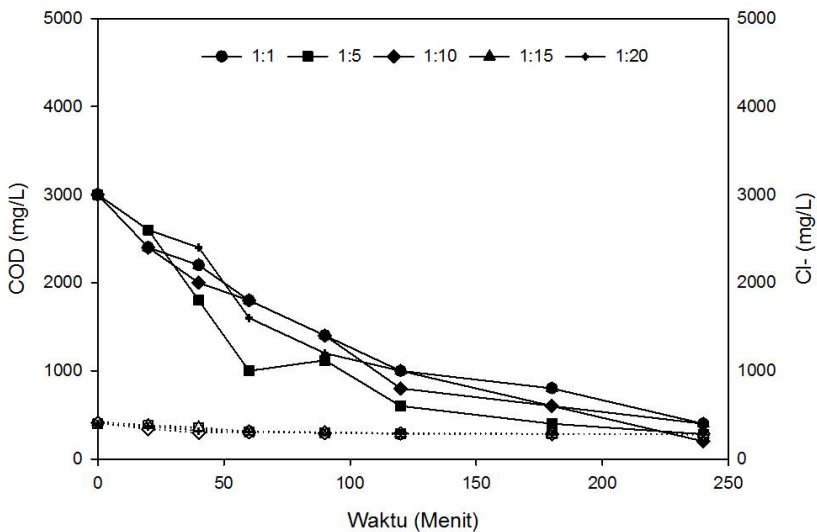
(Ledakowicz, 2000).

Nilai klorida pada lindi pH asli setelah pengolahan (Gambar 4.27) yaitu rata-rata sebesar 307,40 mg/L. Pada pH 3 dan 4 (Gambar 4.28 dan 4.29) yaitu 264,11 mg/L dan 319,69 mg/L. Kisaran nilai klorida pada lindi yaitu 70 – 2.777 mg/L (Young, *et al.*, 1995). Sehingga tanpa penambahan NaCl, lindi TPA Ngipik,

Gresik memiliki kandungan salinitas yang sedang walau melewati pengolahan.



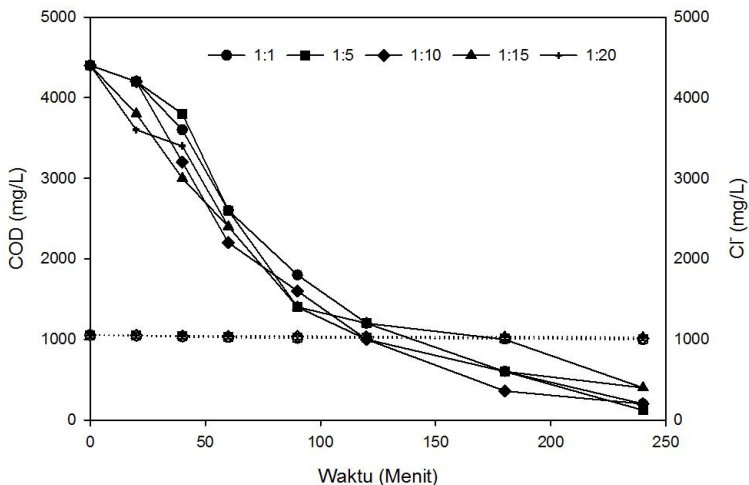
Gambar 4.28 Klorida terhadap COD pH 3 Tanpa NaCl



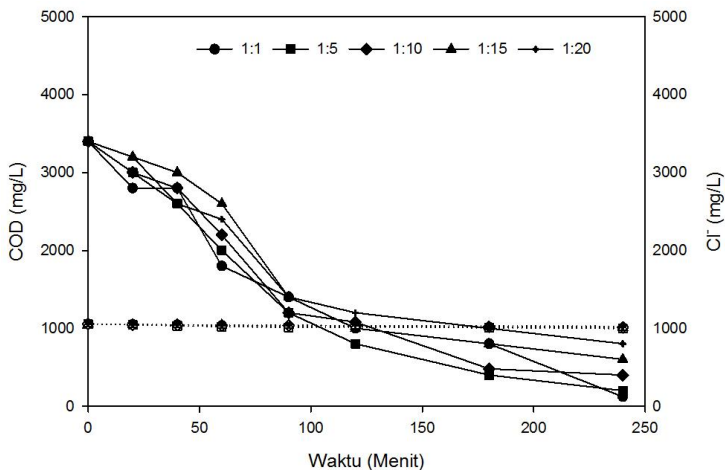
Gambar 4.29 Klorida terhadap COD pH 4 Tanpa NaCl



Sedangkan nilai klorida pada lindi pH asli penambahan NaCl 1 gram (Gambar 4.30) yaitu rata-rata sebesar 1033,08 mg/L. Pada pH 3 dan 4 (Gambar 4.31 dan 4.32) yaitu 1031,57 mg/L dan 1035,96 mg/L

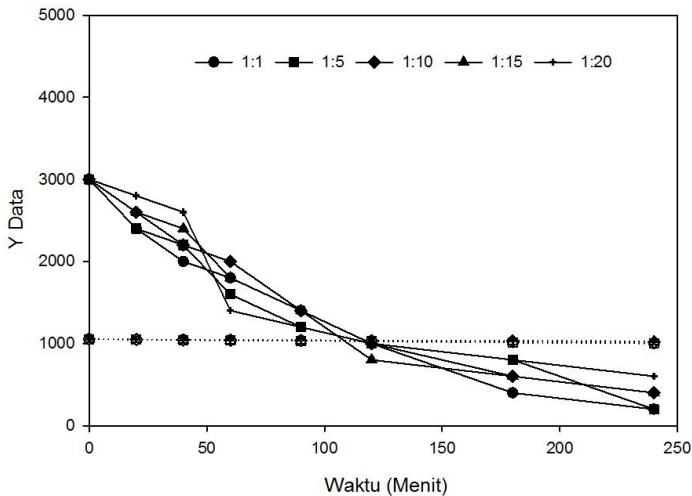


Gambar 4.30 Klorida terhadap COD pH Asli Dengan NaCl



Gambar 4.31 Klorida terhadap COD pH 3 Dengan NaCl

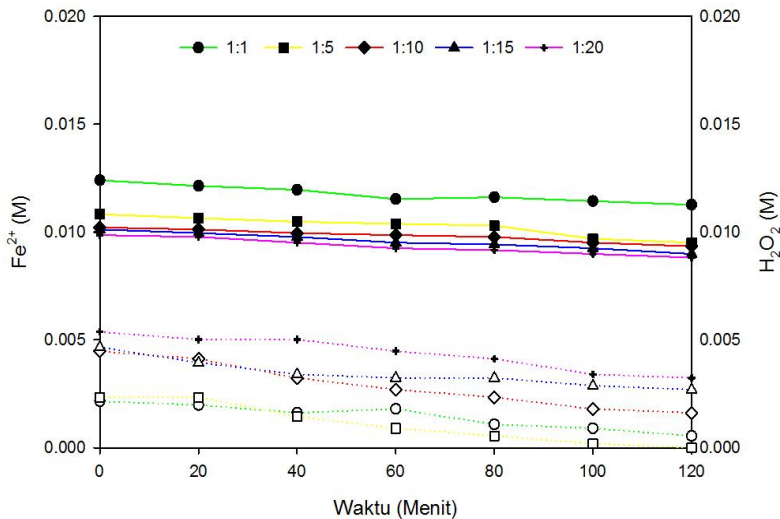
Dibandingkan dengan nilai klorida pada lindi tanpa penambahan NaCl terjadi peningkatan. Selain itu, nilai COD pada lindi dengan penambahan NaCl pada menit ke 240 nilainya lebih besar dibandingkan dengan lindi tanpa penambahan NaCl. Sehingga diketahui bahwa adanya klorida mempengaruhi nilai COD lindi.



Gambar 4.32 Klorida terhadap COD pH 4 Dengan NaCl

### 4.3 Proses Netralisasi Residu Fenton

Proses netralisasi residu Fenton dilakukan langsung setelah *running* Fenton. Tujuan dari netralisasi yaitu untuk menurunkan konsentrasi besi terlarut dan hidrogen peroksida. Netralisasi dilakukan selama 120 menit dengan rentang waktu setiap 20 menit untuk pengambilan sampel. Proses pengolahan residu Fenton dilakukan langsung setelah pengolahan Fenton dengan mengkondisikan pH optimum (penelitian pendahuluan) yaitu pH 9.

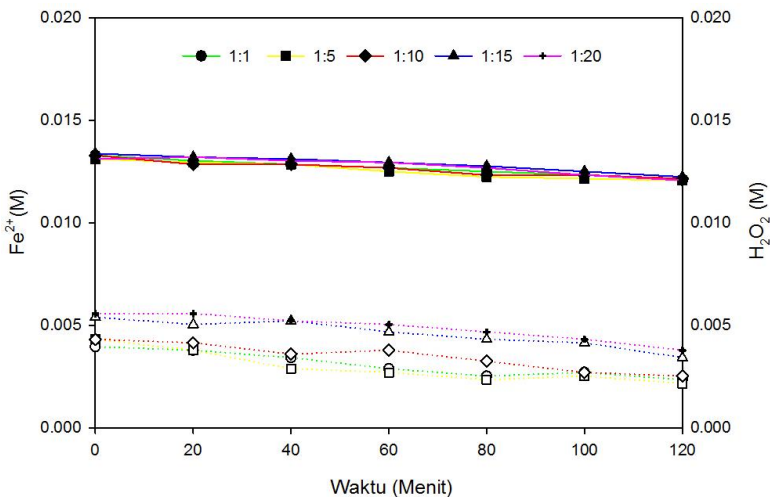


Gambar 4.33 Netralisasi Residu Fenton pH asli Tanpa NaCl

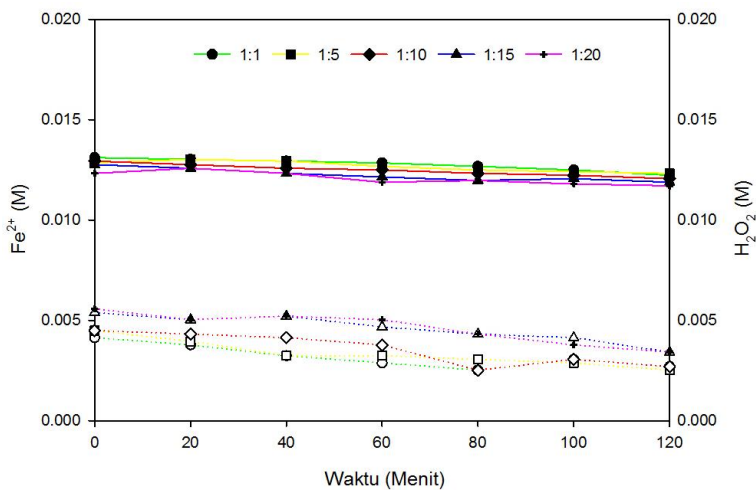
Pada netralisasi residu Fenton dengan pH asli (Gambar 4.33), terjadi penurunan konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  selama 120 menit netralisasi. Hasil penelitian bahwa tiap 20 menit terjadi penurunan konsentrasi antara  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yaitu 0,01 mg/L dan 0,01-0,03 mg/L. Lamanya waktu dalam proses netralisasi membuktikan bahwa konsentrasi besi dan hidrogen peroksida semakin berkurang.

Pada netralisasi residu Fenton dengan pH 3 (Gambar 4.34), terjadi penurunan konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  selama 120 menit netralisasi. Hasil penelitian bahwa tiap 20 menit terjadi penurunan konsentrasi antara  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yaitu 0,01 mg/L dan 0,01-0,03 mg/L. Selama 120 menit, konsentrasi antara  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  mengalami penurunan sehingga bisa dibuang ke badan air karena sudah tidak toksik. Selain itu, pada netralisasi residu Fenton dengan pH 4 (Gambar 4.35), penurunan  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  juga terlihat. Hal ini karena setelah netralisasi, besi membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , dan terpresipitasi dari larutan (Yunaz, 2015).

Oleh karena itu, residu yang dikeluarkan tidak toksik dan dapat dibuang ke badan air sehingga tidak mencemari lingkungan.

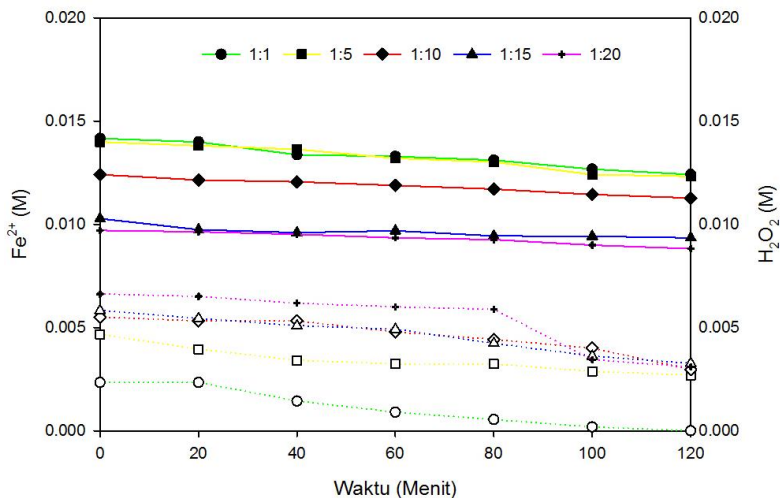


Gambar 4.34 Netralisasi Residu Fenton pH 3 Tanpa NaCl

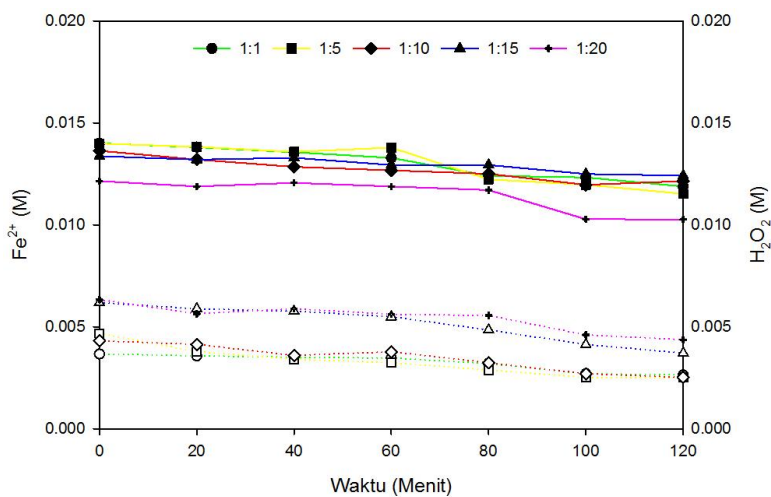


Gambar 4.35 Netralisasi Residu Fenton pH 4 Tanpa NaCl

Netralisasi residu Fenton juga dilakukan pada lindi dengan penambahan NaCl sebagai pembanding apakah penambahan NaCl berpengaruh dalam penurunan residu.

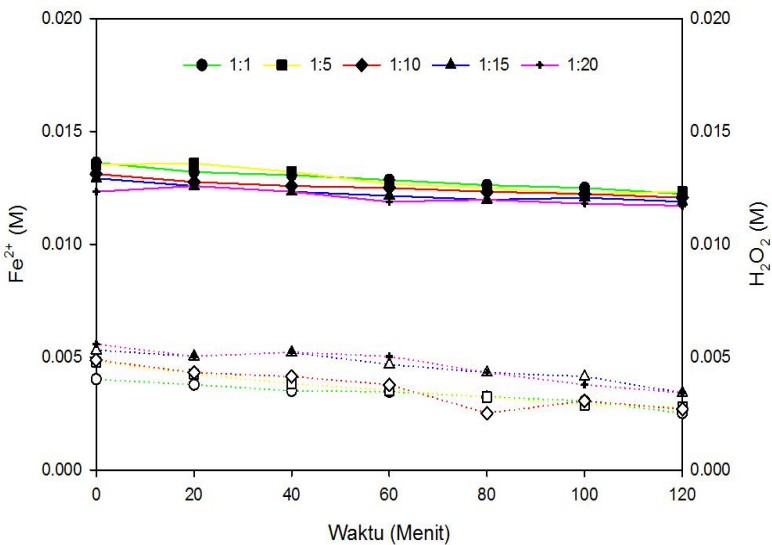


Gambar 4.36 Netralisasi Residu Fenton pH Asli Dengan NaCl



Gambar 4.37 Netralisasi Residu Fenton pH 3 Dengan NaCl

Pada pH asli (Gambar 4.36), terjadi penurunan konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  selama 120 menit netralisasi. Penurunan konsentrasi yang terjadi selama 120 menit proses netralisasi yaitu 0,01 mg/L pada  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Sama halnya dengan pH 3 (Gambar 4.37) dan pH 4 (Gambar 4.38) yang mengalami penurunan 0,01 mg/L selama 120 menit netralisasi.



Gambar 4.38 Netralisasi Residu Fenton pH 4 Dengan NaCl

## **BAB 5 PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, maka kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Efisiensi COD pengolahan lindi maksimum yang dihasilkan menggunakan metode Fenton mencapai 89% pada pH 3 dan BOD<sub>5</sub>/COD rata-rata pengolahan yaitu 0,33.
2. Efisiensi pengolahan lindi dengan adanya penambahan NaCl sebanyak 1 gram mencapai 89%, dengan penurunan nilai COD yang terjadi pada menit ke 20,40, dan 60 terjadi lebih lambat.
3. Penurunan residual besi mencapai 55% dengan penurunan 1,7 mg/L menjadi 0,6 mg/L dan hidrogen peroksida mencapai 99% dengan penurunan 0,9 mg/L menjadi 0,01 mg/L. Penurunan terjadi pada proses netralisasi dengan pH *adjustment* 9 selama 120 menit pengolahan.

### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat diberikan berkaitan dengan penelitian ini, antara lain :

1. Dalam waktu pengolahan lindi dengan metode Fenton selama 240 menit sudah menurunkan nilai COD mencapai 89%, sehingga pengolahan ini sudah cocok untuk menurunkan kandungan organik terutama COD dalam lindi.
2. Perlu dilakukan pengoptimalan dalam penurunan COD dengan menurunkan kadar klorida, sehingga tidak menghambat proses pengolahan dengan menambahkan pengolahan lanjutan sebagai *post treatment*.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## DAFTAR PUSTAKA

- Aygun, A., Yilmaz, T., Nas, B., Berktaý, A. 2012. "Effect of Temperature on Fenton Oxidation of Young Landfill Leachate: Kinetic Assessment and Sludge Properties". **Global NEST Journal** Vol 14, No 4, pp 487-495.
- Aluko, O.O., Sridhar, M.K.C. 2013. "Evaluation of Leachate Treatment by Trickling Filter and Sequencing Batch Reactor Processes in Ibadan, Nigeria". **Journal Waste Management**. 31, 700–705.
- Ameen, E.S., Muyibi, S.A., Abdulkarim, M.I. 2011. "Microfiltration of Pretreated Sanitary Landfill Leachate". **Environmentalist Journal**. 31, 208–215.
- American Public Health Association (APHA). 1995. **Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater (19th edition)**. Byrd Prepress Springfield, Washington.
- Amuda, O.S. 2006. "Removal of COD and Colour from Sanitary Landfill Leachate by Using Coagulation – Fenton's Process". **Journal Application Science Environmental Management**. Vol. 10 (2) 49 – 53.
- Aravindhan, R., Fathima, N., Rao, J.R., Nair, B.U. 2006. "Wet Oxidation of Acid Brown Dye by Hydrogen Peroxide Using Heterogeneous Catalyst Mn-salen-Y zeolite: A potential Catalyst". **Journal of Hazardous Materials**. 138(1-2): 152– 159.
- Assou, M., Madinzi, A., Anouzla, A., Aboulhassan, M.A., Souabi, S., Hafidi, M. 2014. "Reducing Pollution of Stabilized Landfill Leachate by Mixing of Coagulants and Flocculants: A comparative Study". **Journal Engineering Innovation Technology**. 4 : 20–25.
- Babuponnusami, A. and Muthukumar, K. 2014. "A Review on Fenton and Improvements to the Fenton Process for Wastewater Treatments". **Journal of Environmental Chemical Engineering**. 2 : 557-572.
- Bautista, P.A.F., Mohedano, M.A., Gilarranz, J.A. Casas, J.J., Rodriguez. 2007. "Application of Fenton Oxidation to Domestic Wastewaters Treatment". **Journal of Hazardous Materials**. 143: 128– 134

- Bashir, M.J., Aziz, H.A., Yusoff, M.S., Adlan, M.N. 2010. "Application of Response Surface Methodology (RSM) for Optimization of Ammoniacal Nitrogen Removal from Semi-aerobic Landfill Leachate Using Ion Exchange Resin". **Desalination Journal** 254 : 154–161.
- Ching, S.L., Yusoff, M.S., Aziz, H.A., Umar, M. 2011. "Influence of Impregnation Ratio on Coffee Ground Activated Carbon as Landfill Leachate Adsorbent for Removal of Total Iron and Orthophosphate". **Desalination Journal**. 279 : 225–234.
- Cortez, S., Pilar T., Rosário, O., Manuel, M. 2011. "Evaluation of Fenton and Ozone-Based Advanced Oxidation Processes as Mature Landfill Leachate Pre-treatments". **Journal of Environmental Management** 92 : 749-755.
- Dantas, T.L.P, Humberto J.J., and Regina F.P.M. 2003. "Fenton and Photo-Fenton Oxidation of Tannery Wastewater". **Acta Scientiarum Technology**. 25 (1) : 91-95.
- Dhakshinamoorthy A., Alvaro M., Horcajada P., Gibson E., Vishnuvarthan M., Vimont A.. 2012. "Comparison of Porous Iron Trimesates Basolite F300 and MIL-100(Fe) as Heterogeneous Catalysts for Lewis Acid and Oxidation Reactions: Roles of Structural Defects and Stability". **ACS Catal** 2 : 2060–2065.
- Dincer, A.R., Karakaya N., Gunes E., and Gunes, Y. 2008. "Removal Of COD From Oil Recovery Industry Wastewater by The Advanced Oxidation Processes (AOP) Based on  $H_2O_2$ ". **Global NEST Journal**. 10(1) : 31-38.
- Eldyasti, A., Chowdhury, N., Nakhla, G., Zhu, J. 2010. "Biological Nutrient Removal from Leachate Using a Pilot Liquid–Solid Circulating Fluidized Bed Bioreactor (LSCFB)". **Journal of Hazard Mater**. 181 : 289–297.
- Feng, C.H.F. H.B.Li. Mai, X. Z.Li. 2010. "Bio-electro-Fenton Process Driven by Microbial Fuel Cell for Wastewater Treatment". **Environmental Science Technology**. 44: 1875-1880.
- Ferrarese, E., Andreottola, G., & Oprea, I. A. 2008. "Remediation of PAH-contaminated sediments by chemical oxidation". **Journal of Hazardous Materials**. 152(1) : 128– 139.

- Fernandes, A., Pacheco, M.J., Ciriaco, L., Lopes, A. 2015. "Review on The Electrochemical Processes for The Treatment of Sanitary Landfill Leachates: Present and Future". **Journal Environmental Application**. 176 : 183–200.
- Frascari, D., Bronzini, F., Giordano, G., Tedioli, G., Nocentini, M. 2004. "Long-term Characterization, Lagoon Treatment and Migration Potential of Landfill Leachate: A Case Study in an Active Italian Landfill". **Journal of Chemosphere**. 54 : 335–343.
- Garnasih, I. 2009. Studi Pendahuluan Potensi Toksisitas & Genotoksisitas Air Lindi Sampah dari TPA Sarimukti Kabupaten Bandung Terhadap Tikus. **Tesis Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung**. Bandung.
- Hashisho, J., El-Fadel, M., Al-Hindi, M., Salam, D., Alameddine, I. 2016. "Hollow Fiber vs. Flat Sheet MBR for The Treatment of High Strength Stabilized Landfill Leachate". **Journal of Waste Management**. In Press.
- Ismail, S., Tawfik, A. 2016. "Performance of Passive Aerated Immobilized Biomass Reactor Coupled with Fenton Process for Treatment of Landfill Leachate". **Journal Biodegradable**. 111 : 22–30
- Kang, Y.W. and Hwang, K.Y. 2000. "Effects Of Reaction Conditions On The Oxidation Efficiency In The Fenton Process". **Water Res. Kidlington**. 34 : 2786-2790.
- Kang N., Lee D.S., Yoon.J., 2002. "Kinetic Modeling Of Fenton Oxidation Of Phenol And Monochlorophenols". **Journal of Chemosphere**. 47(9): 915–924.
- Kocak, S. 2013. "Treatment of Landfill Leachate by Advanced Oxidation Processes". **Journal Environmental**. 25(2) : 51-64.
- Kurniawan, T.A., Lo, W.H., Chan, G.Y. 2006. "Physico-Chemical Treatments For Removal Of Recalcitrant Contaminants From Landfill Leachate". **Journal Hazard Mater**. 129 : 80–100.
- Li, W., Zhou and Hua, T. 2010. "Removal of Organic Matter from Landfill Leachate by Advanced Oxidation Process: Review". **International Journal of Chemical Engineering**.

- Lin, C.Y., Chang, F.Y., Chang, C.H. 2000. "Co-Digestion of Leachate with Septage Using a UASB Reactor". **Bioresour. Technology**. 73 : 175–178.
- Lin, S.H. dan Lo, C.C. 1997. "Fenton Process for Treatment of Desizing Wastewater". **Water Resource Journal**. 31(8) : 2050-2056.
- Loukidou, M.X. and Zouboulis, A.I. 2001. "Comparison of Two Biological Treatment Process Using Attached-Growth Biomass for Sanitary Landfill Leachate Treatment". **Environmental Pollutant Journal**. 111 : 273–281.
- Mahmud, K., Hossein, D.M.D., and Shams,S. 2012. "Different Treatment Strategies for Highly Polluted Landfill Leacheate in Developing Countries. **Journal Waste Management**. 32 : 2096-2105.
- Maramis, A. 2008. **Pengelolaan Sampah dan Turunannya di TPA**. Magister Biologi Terapan. Universitas Satyawacana. Salatiga.
- Martinen, S.K., Kettunen, R.H., Sormunen, K.M., Soimasuo, R.M., Rintala, J.A. 2002. "Screening Of Physical–Chemical Methods For Removal Of Organic Material, Nitrogen And Toxicity From Low Strength Landfill Leachates". **Journal of Chemosphere** 46 : 851–858.
- Metcalf dan Eddy. 2003. **Wastewater Engineering, Treatment and Reuse**. Mc Graw Hill Book Company. New York.
- Moore, J.W. 1991. **Inorganic Contaminant of Surface Water**. Springer Verlag. New York.
- Nivya, T.K. and Pieus, T.M. 2016. "Comparison Of Photo ElectroFenton Process (PEF) And Combination Of PEF Process And Membrane Bioreactor In The Treatment Of Landfill Leachate". **Procedia Technology** 24 : 224–231.
- Nogueira, R.F.P., Oliveira, M.C., Paterlini, W.C. 2015. "Simple And Fast Spectrophotometric Determination Of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> In Photo-Fenton Reactions Using Metavanadate". **Talanta Journal** 66 : 86– 91.
- Notodarmojo, S. 2005. **Pencemaran Tanah dan Air Tanah**. Bandung: ITB.
- Ozturk, I., Altinbas, M., Koyuncu, I., Arikan, O., Gomec-Yangin, C. 2003. "Advanced Physico-Chemical Treatment

- Experiences On Young Municipal Landfill Leachates". **Journal Waste Management**. 23 : 441–446.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016. **Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah**. Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Rao, D.G., Senthilkumar, R., Anthony J.B., Feroz, S. 2012. **Wastewater Treatment: Advanced Processes and Technologies**. CRC Press. United States.
- Renou, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P. 2008. "Landfill Leachate Treatment: Review And Opportunity". **J. Hazard. Mater** 150 : 468–493.
- Riansyah, E., Putu Wesen. 2011. "Pemanfaatan Lindi Sampah Sebagai Pupuk Cair". **Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan** 4(1).
- Kumar, S.S., Malyan, S.K., Kumar, A., Narshi S.B. 2016. "Optimization of Fenton's Oxidation by Box-Behnken Design of Response Surface Methodology for Landfill Leachate". **J. Mater. Environ. Sci.** 7 (12) : 4456-4466.
- Santin, G.M. 2015. "Optimization for Fenton Process in Removal of COD for Landfill Leachate Treatment". **International Journal of Environmental Science and Development**. 6(12).
- Schmidt, L.J., Gaikowski, M.P., and Gingerich, W.H. 2006. "Environmental Assessment For The Use of Hydrogen Peroxide In Aquaculture For Treating External Fungal And Bacterial Diseases Of Cultured Fish And Fish Eggs". **USGS Report** 180 page.
- Sudibyo dan Warmadewanhi. 2011. "Pengaruh Resirkulasi Lindi Bersalinitas Terhadap Laju Degradasi Sampah TPA Benowo, Surabaya. **Tugas Akhir Sarjana Teknik Lingkungan FTSP-ITS**. Surabaya.
- Talebi, A., Norli, I. Tjoon, T.T., Abbas, F.M. Alkarkhi. 2013. "Optimization Of COD, Apparent Color, And Turbidity Reductions Of Landfill Leachate By Fenton Reagent". **Desalinations and Water Journal**. 52 : 1524–1530.

- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, D.H. 2003. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4<sup>th</sup> Edition**. McGraw-Hill Company, Inc. Hongkong.
- Tengrui, T., Anas A.H., Zhai, J. and Lin, M.B. 2007. "The Effect and Its Influence Factors of The Fenton Process on The Old Landfill Leachate". **Journal of Applied Sciences** 7 (5) : 724-727.
- Umar M., Abdul Aziz H and, Yusoff M. S. 1999. "Trends in The Use of Fenton, ElectroFenton And Photo-Fenton for The Treatment Of Landfill Leachate". **Journal Waste Management** 30 (11) : 2113–2121.
- Wang, Z. and Banks, C.J. "Treatment Of A High-Strength Sulphate-Rich Alkaline Leachate Using an Anaerobic Filter". **Journal Waste Management**. 27 : 359–366.
- Wang, Z., Peng, Y., Miao, L., Cao, T., Zhang, F., Wang, S., Han, J. 2016. "Continuous-Flow Combined Process of Nitrification And ANAMMOX For Treatment of Landfill Leachate". **Bioresour. Technology**. 214 : 514–519.
- Watts, J.R. 1998. **Hazardous Waste: Sources, Pathways, Recycles**. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Weast, R.C. 1977. **Handbook of Chemistry and Physics**. Chicago : CRC Press.
- Wu, J.J., Wu, C., Ma, H., and Chang, C. 2004. "A Short Communication Treatment of Landfill Leachate by Ozone-based Advanced Oxidation Processes". **Journal of Chemosphere**. 54 : 997-1003.
- Deng, Y. and Englehardt, J.D. 2006. "Treatment of Landfill Leachate by The Fenton Process". **Water Res.** 40 : 3683-3694.
- Deng, Y. 2007. Physical and Oxidative Removal of Organics During Fenton Treatment of Mature Municipal Landfill Leachate. **J. Hazard. Mater.** 146 : 334-340.
- Yap, C.L., Gan S., Ng H.K., 2011, "Fenton Based Remediation Of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons-Contaminated Soils", **Journal of Chemosphere** 83 : 1414–1430.
- Yonar, T. 2005. "Decolorisation Of Textile Effluent Using Homogeneous Photochemical Oxidation Processes". **Journal Coloration Technology**. 121(5) : 258-264.

- Young, M.M., Anderson, W.A. and Chakrabarty A.M. 1995. "Environmental Biotechnology: Principles and Applications". **Kluwer Academic**. Dordrecht- Boston- London.
- Yunaz, W.C and Bagastyo, A.Y. 2015. Subsequent Fenton Process and Neutralization for Wastewater Treatment of Textile Home Industry. **The 5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment"**. Bandung, Indonesia.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## Lampiran 1 Prosedur Analisis Laboratorium

### 1. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

#### Alat dan Bahan :

1. Larutan kalium dikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 0,01667 N
2. Kristal perak sulfat ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) dicampur dengan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
  - Melarutkan 5,5 g  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  dan 20 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dalam labu pengencer sebanyak 1 L larutan aquades.
3. Kristal merkuri sulfat ( $\text{Hg}_2\text{SO}_4$ )
4. Larutan standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
  - Melarutkan 19,6 g  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  dengan larutan *aquades* dalam labu ukur sampai tanda batas yang tersedia.
  - Menambahkan 20 mL larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan pipet volumetrik, lalu mengencerkannya hingga 1 L larutan *aquades* dengan menggunakan labu pengencer.
  - Standarisasi dengan menambahkan 25 mL  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  dan 30 mL larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan pipet volumetric, lalu dinginkan. Titrasi dengan indikator feroin sebanyak 0,1-0,15 mL. Bila berubah warna dalam rentang tersebut, maka larutan FAS siap digunakan.
5. Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)
  - Melarutkan 1,485 g 1,10-*phenanthroline monohydrate* dan 0,695 g  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dalam labu pengencer sebanyak 100 mL larutan *aquades*.
6. Tabung COD 9 buah
7. Alat pemanas
8. Rak tabung COD
9. Erlenmeyer 100 mL 9 buah
10. Pipet 5 mL, 10 mL
11. Pipet tetes 1 buah
12. Beker glass 50 mL, 1 buah
13. Gelas ukur 25 mL, 1 buah

#### Prosedur Analisis :

1. Masukkan kristal  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  ke dalam masing-masing erlenmeyer.
2. Tuangkan 1 mL air sampel dan 1 mL air aquades (sebagai blanko) ke dalam masing-masing erlenmeyer.

3. Tambahkan 2 mL larutan  $K_2Cr_2O_7$  0,01667 N.
4. Tambahkan 3,5 mL larutan campuran  $Ag_2SO_4$ .
5. Tabung COD ditutup, diletakkan di rak tabung COD, kemudian diletakkan di atas alat pemanas
6. Nyalakan alat pemanas selama 2 jam.
7. Biarkan tabung dingin, kemudian dicuci dengan aquades dan dipindahkan ke Erlenmeyer 100 mL.
8. Tambahkan 1 tetes indikator Ferroin.
9. Titrasi larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standart FAS 0,05 N hingga warna menjadi merah/coklat.
10. Hitung COD sampel dengan rumus :

$$COD (mg O_2/L) = \frac{(A-B) \times N \times 8000 \times p}{Vol \text{ sampel}}$$

Keterangan :

A : mL FAS titrasi blanko

B : mL FAS titrasi sampel

N : normalitas larutan FAS

P : pengenceran

## 2. Analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*)

### Alat dan Bahan :

1. 1 buah labu ukur berukuran 1 L
2. Larutan buffer fosfat
  - Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi 500 ml aquades, 8,5 g  $KH_2PO_4$ , 21,75 g  $K_2HPO_4$ , 33,4 g  $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$  dan 1,7 g  $NH_4Cl$ . Kemudian encerkan dengan aquades sampai menjadi 1 liter. Sesuaikan pH nya sampai 7,2 dengan asam HCl atau basa NaOH 0,1 atau 1N.
3. Larutan magnesium sulfat
  - Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi 500 ml aquades, 22,5 g  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  dan encerkan dengan aquades sampai 1 liter.
4. Larutan kalium klorida
  - Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi 500 ml aquades, 27,5g  $CaCl_2$  dan encerkan dengan aquades sampai 1 liter.

5. Larutan feri klorida
  - Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi 500 ml aquades, 0,25 g  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan encerkan dengan aquades sampai 1 liter.
6. Larutan basa NaOH atau KOH dan asam HCl atau  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N untuk menetralkan sampel air yang bersifat asam atau basa sampai pH nya berkisar antara 7,0-7,6
7. Bubuk inhibitor nitrifikasi :  
N-Serve (Dow chemicals, allytio ureum (ATU) (Merck) atau nitrification inhibitor 2533 (Hach Chem. Co).
8. 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winler 150 mL
9. Benih (inoculum, seed):
  - Ambil 10 g tanah subur, yang dapat ditanami, tidak mengandung pestisida, pH antara 6-7,5. Campur tanah tersebut dengan 100 ml air sampel yang akan diperiksa. Simpan suspensi tersebut selama 1 hari pada temperatur  $20^\circ\text{C}$  dalam inkubator gelap.
10. Inkubator suhu  $20^\circ\text{C}$

#### Prosedur Analisis:

##### A. Pembuatan air pengencer

Air pengencer ini tergantung banyaknya sampel yang akan dianalisa dan pengencerannya, prosedurnya:

1. Tambahkan 1 ml larutan buffer fosfat per liter air.
2. Tambahkan 1 ml larutan magnesium sulfat per liter air.
3. Tambahkan 1 ml larutan larutan kalium klorida per liter air.
4. Tambahkan 1 ml larutan feri klorida per liter air.
5. Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor.
6. Aerasi minimal 2 jam.
7. Tambahkan 1 ml larutan benih per liter air.

##### B. Prosedur BOD

###### 1. Menentukan pengenceran

Untuk menganalisa BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui  $\text{KMnO}_4$  sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

###### 2. Prosedur BOD dengan Winkler

- a. Siapkan 1 buah labu takar 500 ml dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
- b. Siapkan 2 buah botol Winkler 300 ml dan 2 buah botol Winkler 150 ml.
- c. Tuangkan air dalam labu takar tadi kedalam botol Winkler 300 ml dan 150 ml sampai tumpah.
- d. Tuangkan air pengencer ke botol Winkler 300 ml dan 150 ml sebagai blanko sampai tumpah.
- e. Masukkan kedua botol Winkler 300 ml ke dalam incubator 20°C selama 5 hari
- f. Kedua botol Winkler 150 ml yang berisi air dianalisa oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
  - Tambahkan 1 ml larutan mangan sulfat
  - Tambahkan pereaksi oksigen
  - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali.
  - Biarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit
  - Tambahkan 1 ml asam sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan.
  - Tuangkan 100 ml larutan ke dalam erlenmeyer 250 ml.
  - Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda.
  - Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan Natrium Tiosulfat hingga warna biru hilang.
- g. Setelah 5 hari, analisa kedua larutan dalam botol Winkler 300 mL dengan analisa oksigen terlarut.
- h. Hitung Oksigen Terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$OT \text{ (mgO}_2\text{/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100}$$

$$BOD_5^{20} \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

Keterangan :

X<sub>0</sub> : OT sampel pada t = 0  
 X<sub>5</sub> : OT sampel pada t = 5  
 B<sub>0</sub> : OT blanko pada t = 0

B<sub>5</sub> : OT blanko pada t = 5  
P : derajat pengenceran

### 3. Analisis pH

#### Alat dan Bahan :

1. Aquades
2. Beaker Glass
3. pH Meter
4. Sampel lindi sebanyak 10 mL

#### Prosedur Analisis :

1. Aquades dimasukkan ke dalam beaker glass. Lalu alat pengukur dalam pH meter dicelupkan dalam beaker glass.
2. Dicatat pH yang muncul.
3. Sampel lindi dituang pada beaker glass secukupnya, lalu alat pH dicelupkan di dalamnya.

### 4. Analisis Hidrogen Peroksida

Analisis hidrogen peroksida menggunakan metode metavanadate mengacu pada Nogueira *et al* (2005)

#### Alat dan Bahan :

1. Asam sulfat pekat
2. AR Ammonium metavanadate ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ )
3. 30% AR  $\text{H}_2\text{O}_2$
4. Kuvet
5. Erlenmayer 100 mL 1 buah
6. Labu ukur 10 mL
7. Pipet skala 10 mL, 5 mL, dan 1 mL

#### Prosedur Analisis :

- 1). Pembuatan larutan stock (62 mM Ammonium metavanadate), Larutan A :
  1. Timbang 7.252,76 mg bubuk stok AR Ammonium metavanadate ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ )
  2. Masukkan ke dalam beaker glass 1 L, tambahkan aquades 800 mL sambil diaduk.
- 2). Pembuatan larutan stock metavanadate (62 mM  $\text{VO}_3^-$ , 0,58 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), Larutan B :

1. Tambahkan 32,2 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat ke dalam larutan A dengan pengadukan magnetic sampai terlarut sempurna.
2. Encerkan dengan aquades sampai dengan 1 L.
- 3). Pembuatan larutan stock  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), Larutan C :
  1. Ambil 1,7 mL 30% AR  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan encerkan sampai 500 mL dengan aquades.
- 4). Pengukuran  $\text{H}_2\text{O}_2$  pada sampel
  1. Ambil 4 mL sampel, masukkan ke dalam labu ukur 10 mL.
  2. Tambahkan 1 mL larutan B.
  3. Gunakan blanko 1 mL larutan B yang diencerkan hingga 10 mL.
  4. Baca absorbansi pada panjang gelombang 450 nm.

## 5. Analisis Besi

### Alat dan Bahan :

1. Larutan Hydroxylamine ( $\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$ )
2. Larutan HCl pekat
3. Larutan Ammonium Acetate Buffer ( $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ )
4. Larutan Phenanthroline Monohydrate
5. Erlenmayer 100 mL 2 buah
6. Pemanas listrik
7. Pipet skala 25 mL, 10 mL, dan 5 mL

### Prosedur Analisis :

1. Ambil 2 buah erlenmayer 100 mL dan isi masing-masing dengan 25 mL sampel lindi dan aquades (sebagai blanko).
2. Tambahkan masing-masing dengan 1 mL HCl pekat.
3. Tambahkan masing-masing 0,5 mL Hydroxylamine ( $\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$ ).
4. Panaskan hingga volume menjadi  $\pm 15\text{-}20$  mL.
5. Dinginkan dan encerkan dengan aquades hingga volume mencapai 25 mL dalam labu ukur.
6. Tambahkan 5 mL larutan Ammonium Acetate Buffer ( $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ) pada masing-masing erlenmayer.
7. Tambahkan pada masing-masing erlenmayer 1 mL larutan Phenanthroline Monohydrate

8. Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 510 nm dan hitung hasil absorbansi pada rumus hasil kalibrasi atau kurva kalibrasi.

## 6. Analisis Klorida (Cl<sup>-</sup>)

Analisis klorida menggunakan metode Argentometri Mohr, yaitu analisis klorida dengan cara menitrasi larutan garam alkali (contoh : NaCl) dan kalium kromat (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) dengan titran perak nitrat (AgNO<sub>3</sub>)

Alat dan Bahan :

1. Larutan Perak Nitrat (AgNO<sub>3</sub>) 1/35,45 N
  - Melarutkan 4,7945 g AgNO<sub>3</sub> dalam labu pengencer 1 L larutan aquades.
2. Larutan Kalium kromat (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) 10%
  - Melarutkan 10 g K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> dalam labu pengencer 100 mL larutan aquades.
3. Faktor koreksi AgNO<sub>3</sub>
  - Melarutkan 1,6485 g NaCl dengan larutan aquades dalam labu ukur sampai tanda batas.
  - Mengambil 10 mL larutan NaCl dengan pipet volumetrik, lalu dimasukkan ke dalam beaker glass.
  - Menambahkan 3 tetes HNO<sub>3</sub> pekat, 3 tetes K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> 10%, dan 1 sendok spatula bubuk MgO atau ZnO.
  - Menitrasinya dengan larutan AgNO<sub>3</sub> 1/35,45 hingga warna kuningnya berubah warna menjadi merah bata.
  - Menghitung nilai faktor koreksi AgNO<sub>3</sub> dengan persamaan berikut :  
Faktor koreksi AgNO<sub>3</sub> = 10 / mL titrasi AgNO<sub>3</sub>  
Nilai faktor tersebut sebagai nilai koreksi untuk menghitung Cl<sup>-</sup> (mg/L) pada akhir prosedur analisis klorida.
4. Erlenmayer 100 mL 2 buah
5. Sendok spatula
6. Pipet skala 10 mL
7. Beaker glass

Prosedur Analisis :

1. Mengambil sampel sebanyak 25 mL ke dalam labu erlenmayer berukuran 100 mL.
2. Menambahkan 0,5 mL  $K_2CrO_4$  10%.
3. Menambahkan bubuk MgO sebanyak 1 sendok spatula.
4. Menitrasi dengan titran  $AgNO_3$  hingga berubah warna menjadi merah bata.
5. Menghitung nilai  $Cl^-$  dengan rumus berikut:

$$Cl^- \text{ (mg/L)} = \frac{A \times f \times 35,45}{V}$$

Keterangan :

A : mL titrasi

f : faktor koreksi

V : volume sampel



## Lampiran 2 Prosedur Pengaturan pH

### a. Pembuatan Larutan Standart

$$\begin{aligned}\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ pekat} &= \frac{\% \times \text{Berat jenis} \times 100}{\text{Berat Molekul}} \\ &= \frac{97\% \times 1,84 \text{ kg/L} \times 100}{98,08} \\ &= 18,2 \text{ M}\end{aligned}$$

Pengenceran Larutan Induk

Rumus yang digunakan :  $V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$

Dimana :  $V_1$  = Volume larutan induk yang dibutuhkan

$M_1$  = Molaritas larutan induk

$V_2$  = Volume larutan yang akan dibuat

$M_2$  = Molaritas larutan yang akan dibuat

Pembuatan Larutan NaOH

$$\text{Molaritas} = \frac{n}{V}$$

$$n = \frac{m}{Mr (\text{NaOH})}$$

NaOH 6 N → Diambil 24 gram NaOH dilarutkan dalam 100 mL aquades

NaOH 1 N → Diambil 4 gram NaOH dilarutkan dalam 100 mL aquades

### b. Perhitungan Penambahan Volume Asam/Basa

Rumus yang digunakan :  $V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$

Dimana :  $V_1$  = Volume larutan induk yang dibutuhkan

$M_1$  = Molaritas larutan induk

$V_2$  = Volume larutan asam atau basa yang ditambahkan

$M_2$  = Molaritas larutan asam atau basa yang ditambahkan

Perhitungan untuk lindi 2 L, diturunkan dari pH 8,34 menjadi pH 4 dengan larutan standar  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,005 M. Volume asam yang ditambahkan pada limbah yaitu :

$$\text{pH} = 4 \rightarrow \text{H}^+ = 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{pH} = 8 \rightarrow \text{H}^+ = \text{H}^{-8,34} \text{ M}$$

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 0,005 \text{ M} = 2\text{L} \times (10^{-4} \text{ M} - 10^{-8,34} \text{ M})$$

$$V_1 = \frac{2L \times (10^{-4}M - 10^{-8,34}M)}{0,005M}$$

$$V_1 = 0,039 L \approx 39 \text{ mL}$$

Sehingga dibutuhkan volume  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,005 M sebanyak 39 mL.

### Lampiran 3 Prosedur Pembuatan Reagen Fenton

#### a. Kebutuhan Hidrogen Peroksida

Kebutuhan  $\text{H}_2\text{O}_2$  berdasarkan pada nilai COD awal dari sampel lindi.

Konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2 = \text{COD (mg/L O}_2) \times 2,12$  (Kang dan Hwang, 2000)

COD awal lindi = 4400 mg/L

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan H}_2\text{O}_2 &= 2,12 \times 4400 \text{ mg/L} \\ &= 9328 \text{ mg/L} \\ &= 9,328 \text{ g/L}\end{aligned}$$

$\text{H}_2\text{O}_2$  yang digunakan memiliki kadar 30%

$$\text{Molaritas H}_2\text{O}_2 = \frac{\text{Konsentrasi H}_2\text{O}_2}{\text{BM H}_2\text{O}_2} = \frac{9,328 \text{ g/L}}{34000} = 0,27 \text{ M}$$

$$\text{H}_2\text{O}_2 = 0,27 \text{ M} \times 2\text{L} \times 34 = 18,36 \text{ gram}$$

Volume  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% yang ditambahkan pada sampel dihitung menggunakan rumus :

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

Dimana :  $V_1$  = Volume larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% yang dibutuhkan

$M_1$  = Molaritas  $\text{H}_2\text{O}_2$  30%

$V_2$  = Volume sampel lindi

$M_2$  = Kebutuhan molaritas  $\text{H}_2\text{O}_2$  dari sampel

#### b. Perhitungan Kebutuhan Hidrogen Peroksida tiap Rasio Molar

Fe yang dibutuhkan berasal dari Fe asli lindi, maka dalam perhitungan kebutuhan Fe dihitung tetap yaitu yang berasal dari lindi. Fe lindi hasil analisis yaitu sebesar 187 mg/L. Selanjutnya menentukan rasio berdasarkan besar Fe lindi dan kebutuhan reagen Fenton dalam penelitian ini sebagai berikut :

$$\text{a. Fenton rasio molar } [\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2] = 1 : 1$$

Salah satu contoh perhitungan untuk perbandingan 1  $[\text{Fe}^{2+}] : 1 [\text{H}_2\text{O}_2]$ , perhitungan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan sebagai berikut :

$$1 [\text{Fe}^{2+}] : 1 [\text{H}_2\text{O}_2]$$

$$\text{M H}_2\text{O}_2 = 0,27 \text{ M}$$

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 34 \text{ M} = 2000 \times 0,27 \text{ M}$$

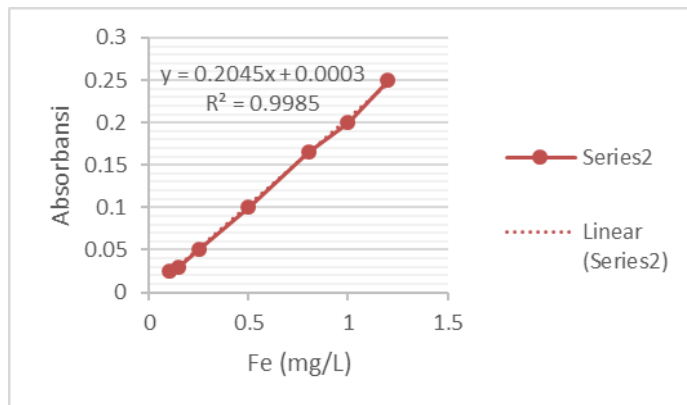
- Volume  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan = 15,88 ml
- b. Fenton rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2] = 1 : 5$   
 Salah satu contoh perhitungan untuk perbandingan 1  $[\text{Fe}^{2+}] : 5 [\text{H}_2\text{O}_2]$ , perhitungan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan sebagai berikut :  
 $1 [\text{Fe}^{2+}] : 5 [\text{H}_2\text{O}_2]$   
 $M \text{H}_2\text{O}_2 = 1,35 \text{ M}$   
 $V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$   
 $V_1 \times 34 \text{ M} = 2000 \times 1,35 \text{ M}$   
 Volume  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan = 79,41 ml
- c. Fenton rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2] = 1 : 10$   
 Salah satu contoh perhitungan untuk perbandingan 1  $[\text{Fe}^{2+}] : 10 [\text{H}_2\text{O}_2]$ , perhitungan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan sebagai berikut :  
 $1 [\text{Fe}^{2+}] : 10 [\text{H}_2\text{O}_2]$   
 $M \text{H}_2\text{O}_2 = 2,7 \text{ M}$   
 $V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$   
 $V_1 \times 34 \text{ M} = 2000 \times 2,7 \text{ M}$   
 Volume  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan = 158,82 ml
- d. Fenton rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2] = 1 : 15$   
 Salah satu contoh perhitungan untuk perbandingan 1  $[\text{Fe}^{2+}] : 15 [\text{H}_2\text{O}_2]$ , perhitungan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan sebagai berikut :  
 $1 [\text{Fe}^{2+}] : 15 [\text{H}_2\text{O}_2]$   
 $M \text{H}_2\text{O}_2 = 4,05 \text{ M}$   
 $V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$   
 $V_1 \times 34 \text{ M} = 2000 \times 4,05 \text{ M}$   
 Volume  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan = 238,24 ml
- e. Fenton rasio molar  $[\text{Fe}^{2+}] : [\text{H}_2\text{O}_2] = 1 : 20$   
 Salah satu contoh perhitungan untuk perbandingan 1  $[\text{Fe}^{2+}] : 20 [\text{H}_2\text{O}_2]$ , perhitungan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan sebagai berikut :  
 $M \text{H}_2\text{O}_2 = 5,4 \text{ M}$   
 $V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$   
 $V_1 \times 34 \text{ M} = 2000 \times 5,4 \text{ M}$   
 Volume  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dibutuhkan = 317,65 ml

#### Lampiran 4 Prosedur Pembuatan Kurva Kalibrasi

##### a. Pembuatan Kurva Kalibrasi Analisis Besi ( $\text{Fe}^{2+}$ )

Tabel 1. Data Absorbansi Larutan Standar Besi (Fe)

No	Konsentrasi	Absorbansi
1	0,1	0,025
2	0,15	0,03
3	0,25	0,05
4	0,5	0,1
5	0,8	0,165
6	1	0,2
7	1,2	0,25



##### b. Pembuatan Kurva Kalibrasi Analisis Hidrogen Peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )

###### 1). Pembuatan larutan kerja $\text{H}_2\text{O}_2$

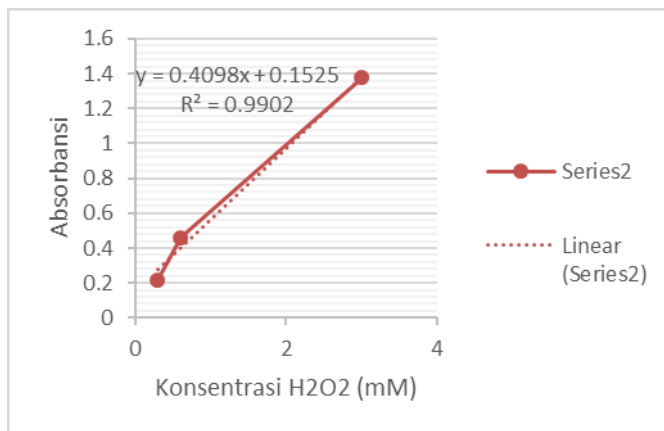
1. Buat larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  0,3 mM : Ambil 0,1 mL larutan C + 1 mL larutan B dan encerkan hingga 10 mL.
2. Buat larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  0,6 mM : Ambil 0,2 mL larutan C + 1 mL larutan B dan encerkan hingga 10 mL.
3. Buat larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  3 mM : Ambil 1 mL larutan C + 1 mL larutan B dan encerkan hingga 10 mL.

## 2) Pembuatan kurva kalibrasi

1. Siapkan larutan kerja  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang telah dibuat.
2. Gunakan blanko 1 mL larutan B yang diencerkan hingga 10 mL.
3. Atur gelombang pada spektrofotometer pada 450 nm.
4. Scan blanko dan baca absorbansi setiap larutan kerja yang telah dibuat.
5. Plotkan absorbansi yang telah didapat sebagai sumbu y terhadap konsentrasi larutan kerja  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang telah digunakan sebagai sumbu x.

Tabel 2. Data Absorbansi Larutan Standar  $\text{H}_2\text{O}_2$

No	Konsentrasi	Absorbansi
1	0,3	0,219
2	0,6	0,462
3	3	1,375



## Lampiran 5 Rekapitulasi Data Proses Fenton

### A. Tanpa Penambahan NaCl

#### a. Fenton Rasio Molar 1:1 pH Asli

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	8,14	4,23	0,89	4400	408,38
20	3,02	4,17	0,82	4200	338,19
40	3,00	3,77	0,44	3600	296,72
60	2,98	3,72	0,28	2600	303,10
90	2,96	3,82	0,46	1400	293,53
120	2,99	3,20	0,60	1000	290,34
180	2,94	1,81	0,25	800	280,76
240	2,82	1,20	0,16	400	283,95

#### b. Fenton Rasio Molar 1:5 pH Asli

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	8,14	3,72	0,87	4400	414,77
20	4,89	2,85	0,61	3400	306,29
40	4,71	2,71	0,51	2200	303,10
60	4,62	2,60	0,46	1800	303,10
90	4,63	2,46	0,33	1000	293,53
120	4,55	2,45	0,32	600	296,72
180	4,37	1,92	0,27	400	287,15
240	4,21	0,71	0,23	200	280,76

c. Fenton Rasio Molar 1:10 pH Asli

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	8,14	2,75	1,06	4400	382,86
20	4,94	2,78	1,04	3200	331,81
40	4,86	2,67	0,78	2000	312,67
60	4,83	2,70	0,76	600	303,10
90	4,80	2,53	0,71	360	296,72
120	4,82	2,19	0,67	280	293,53
180	4,70	1,02	0,44	200	290,34
240	4,61	0,99	0,31	80	280,76

d. Fenton Rasio Molar 1:15 pH Asli

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	8,14	2,81	1,65	4400	344,57
20	6,71	2,71	1,64	3600	325,43
40	6,65	2,38	1,44	1400	315,86
60	6,72	2,31	1,46	1200	309,48
90	6,42	2,46	1,30	1000	293,53
120	6,11	1,94	0,95	600	283,95
180	5,98	1,63	0,83	400	283,95
240	5,44	1,04	0,55	360	271,19

e. Fenton Rasio Molar 1:20 pH Asli

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	8,14	3,72	0,87	4400	414,77



<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
20	7,02	2,71	1,97	3400	325,43
40	6,87	2,70	1,53	2400	319,05
60	6,77	2,36	0,96	2200	312,67
90	6,65	2,16	0,72	1400	299,91
120	6,49	1,57	0,67	1000	287,15
180	6,39	1,57	0,58	800	283,95
240	6,30	0,62	0,25	400	277,57

f. Fenton Rasio Molar 1:1 pH 3

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	3,00	4,41	0,39	2600	222,46
20	2,45	4,34	0,38	2400	184,48
40	2,56	4,21	0,38	2200	179,05
60	2,33	3,91	0,37	1800	175,44
90	2,42	4,07	0,35	1400	170,01
120	2,40	3,98	0,35	1000	168,20
180	2,20	3,63	0,29	800	162,78
240	2,19	3,04	0,27	400	157,35

g. Fenton Rasio Molar 1:5 pH 3

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	3,00	4,13	0,89	2600	251,42
20	2,76	4,07	0,81	2400	241,36
40	2,77	4,06	0,81	1800	229,29

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
60	2,61	4,04	0,75	1600	195,10
90	3,00	3,99	0,65	1200	195,10
120	2,84	3,88	0,71	600	193,09
180	2,55	3,19	0,50	200	185,04
240	2,43	2,13	0,46	80	179,01

h. Fenton Rasio Molar 1:10 pH 3

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	3,00	3,49	0,83	2600	382,86
20	2,72	3,44	0,88	2400	338,19
40	2,79	3,41	0,86	2200	315,86
60	2,85	3,35	0,78	2000	299,91
90	2,68	3,15	0,70	1400	299,91
120	2,51	2,66	0,64	1000	296,72
180	2,55	2,17	0,54	600	287,15
240	2,42	1,47	0,44	320	274,38

i. Fenton Rasio Molar 1:15 pH 3

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	3,00	3,17	0,99	2600	370,10
20	2,99	3,13	1,03	2400	341,38
40	3,01	3,09	1,00	2200	315,86
60	2,85	3,04	0,89	1800	309,48
90	2,74	3,10	0,82	1400	306,29

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
120	2,80	2,64	0,72	800	296,72
180	2,56	1,65	0,71	600	290,34
240	2,55	1,41	0,66	400	280,76

j. Fenton Rasio Molar 1:20 pH 3

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	3,00	2,83	1,30	2600	366,91
20	3,20	2,93	1,12	2200	331,81
40	3,00	2,71	1,00	1800	315,86
60	2,94	2,65	0,94	1400	312,67
90	2,88	2,63	0,92	1200	296,72
120	2,65	2,05	0,87	1000	299,91
180	2,72	1,83	0,73	800	274,38
240	2,60	1,17	0,50	600	271,19

k. Fenton Rasio Molar 1:1 pH 4

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	4,00	4,38	0,72	3000	402,00
20	2,22	4,41	0,70	2400	363,72
40	2,37	4,29	0,70	2200	331,81
60	2,30	4,22	0,64	1800	309,48
90	2,29	3,62	0,51	1400	296,72
120	2,21	3,02	0,43	1000	280,76
180	2,18	2,21	0,32	800	283,95

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
240	2,20	1,80	0,26	400	277,57

l. Fenton Rasio Molar 1:5 pH 4

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	4,00	3,85	0,78	3000	398,81
20	3,02	3,72	0,73	2600	376,48
40	3,00	3,68	0,75	1800	354,15
60	2,98	3,34	0,71	1000	309,48
90	2,96	3,08	0,68	1120	299,91
120	2,99	2,66	0,60	600	287,15
180	2,94	1,63	0,47	400	283,95
240	2,82	1,40	0,42	280	277,57

m. Fenton Rasio Molar 1:10 pH 4

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	4,00	3,64	1,05	3000	408,38
20	3,07	3,64	1,02	2400	338,19
40	3,10	3,53	0,97	2000	296,72
60	2,50	3,31	0,89	1800	303,10
90	2,43	3,07	0,86	1400	293,53
120	2,62	2,69	0,76	800	290,34
180	2,44	1,95	0,70	600	280,76
240	2,31	1,03	0,55	200	283,95

n. Fenton Rasio Molar 1:15 pH 4

Waktu (Menit)	pH	Besi Terlarut (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)
0	4,00	3,92	0,48	3000	417,96
20	2,93	3,52	0,47	2400	382,86
40	2,75	3,26	0,49	2200	357,34
60	2,77	2,95	0,47	1800	312,67
90	2,86	2,88	0,41	1400	303,10
120	2,95	2,79	0,36	1000	290,34
180	2,73	1,57	0,27	800	283,95
240	2,50	0,58	0,16	400	274,38

o. Fenton Rasio Molar 1:20 pH 4

Waktu (Menit)	pH	Besi Terlarut (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)
0	4,00	3,24	0,48	3000	398,81
20	3,16	3,21	0,41	2600	366,91
40	2,93	3,09	0,35	2400	315,86
60	2,89	2,94	0,30	1600	303,10
90	2,88	2,83	0,27	1200	296,72
120	2,69	2,89	0,21	1000	290,34
180	2,71	2,79	0,21	600	280,76
240	2,66	2,19	0,16	400	283,95

p. BOD<sub>5</sub>/COD Fenton

pH	Rasio Molar [Fe <sup>2+</sup> ] : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>				
	1:1	1:5	1:10	1:15	1:20
Asli	0,31	0,28	0,33	0,32	0,38

pH	Rasio Molar $[\text{Fe}^{2+}] : \text{H}_2\text{O}_2$				
	1:1	1:5	1:10	1:15	1:20
3	0,34	0,33	0,30	0,26	0,20
4	0,36	0,47	0,48	0,33	0,31

B. Dengan Penambahan NaCl 1 gram

a. Fenton Rasio Molar 1:1 pH Asli

Waktu (Menit)	pH	Besi Terlarut (mg/L)	$\text{H}_2\text{O}_2$ (mg/L)	COD (mg/L)	$\text{Cl}^-$ (mg/L)
0	8,14	2,95	1,00	4400	1052,87
20	5,32	2,92	0,90	4200	1043,29
40	5,31	2,94	0,86	3600	1030,53
60	5,27	2,70	0,79	2600	1020,96
90	5,18	2,42	0,64	1800	1011,39
120	5,14	2,08	0,49	1200	1014,58
180	5,10	1,78	0,38	600	1005,01
240	5,18	1,06	0,34	200	995,44

b. Fenton Rasio Molar 1:5 pH Asli

Waktu (Menit)	pH	Besi Terlarut (mg/L)	$\text{H}_2\text{O}_2$ (mg/L)	COD (mg/L)	$\text{Cl}^-$ (mg/L)
0	8,14	2,39	1,03	4400	1052,87
20	6,01	2,44	0,97	4200	1049,67
40	5,98	2,39	0,99	3800	1043,29
60	5,75	2,21	0,96	2600	1033,72
90	5,43	2,15	0,76	1400	1024,15
120	5,29	2,11	0,52	1200	1017,77
180	5,20	1,90	0,49	600	1011,39

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
240	5,22	1,00	0,41	120	1001,82

c. Fenton Rasio Molar 1:10 pH Asli

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	8,14	2,30	1,16	4400	1052,87
20	6,33	2,29	1,10	4200	1049,67
40	6,32	2,11	0,98	3200	1040,10
60	6,26	2,12	0,91	2200	1036,91
90	5,87	2,09	0,82	1600	1033,72
120	5,56	2,06	0,84	1000	1030,53
180	5,49	1,77	0,70	360	1017,77
240	5,36	1,03	0,62	200	1011,39

d. Fenton Rasio Molar 1:15 pH Asli

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	8,14	1,80	1,08	4400	1052,87
20	6,45	1,85	0,99	3800	1049,67
40	6,36	1,78	0,96	3000	1043,29
60	6,29	1,76	0,94	2400	1040,10
90	5,89	1,75	0,89	1400	1036,91
120	5,66	1,72	0,89	1200	1033,72
180	5,50	1,29	0,81	1000	1030,53
240	5,43	0,99	0,74	400	1024,15

e. Fenton Rasio Molar 1:20 pH Asli

Waktu (Menit)	pH	Besi Terlarut (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)
0	8,14	1,77	1,09	4400	1052,87
20	6,60	1,76	1,10	3600	1049,67
40	6,57	1,72	1,07	3400	1046,48
60	6,55	1,71	1,05	2400	1043,29
90	6,32	1,65	1,00	1400	1040,10
120	5,98	1,61	0,90	1000	1036,91
180	5,87	1,17	0,81	600	1033,72
240	5,63	0,87	0,68	400	1027,34

f. Fenton Rasio Molar 1:1 pH 3

Waktu (Menit)	pH	Besi Terlarut (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)
0	3,00	2,95	1,00	3400	1052,87
20	2,98	2,83	0,90	3000	1049,67
40	2,84	2,70	0,86	2600	1043,29
60	2,77	2,58	0,79	2000	1033,72
90	2,73	2,46	0,64	1200	1024,15
120	2,87	2,52	0,49	800	1017,77
180	2,66	2,29	0,38	400	1011,39
240	2,57	1,50	0,34	200	1001,82

g. Fenton Rasio Molar 1:5 pH 3

Waktu (Menit)	pH	Besi Terlarut (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)
0	3,00	2,81	1,16	3400	1052,87



<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
20	2,55	2,68	1,10	3000	1043,29
40	2,63	2,54	0,98	2800	1030,53
60	3,00	2,41	0,91	2200	1020,96
90	2,75	2,27	0,82	1200	1011,39
120	2,51	2,19	0,84	1080	1014,58
180	2,44	1,95	0,70	480	1005,01
240	2,40	1,34	0,62	400	995,44

h. Fenton Rasio Molar 1:10 pH 3

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	3,00	2,25	1,08	3400	1052,87
20	2,48	2,23	0,99	3000	1049,67
40	2,51	2,20	0,96	2800	1040,10
60	2,45	2,18	0,94	2200	1036,91
90	2,33	2,16	0,89	1200	1033,72
120	2,30	2,14	0,89	1080	1030,53
180	2,31	1,72	0,81	480	1017,77
240	2,24	1,30	0,74	400	1011,39

i. Fenton Rasio Molar 1:15 pH 3

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	3,00	1,85	1,16	3400	1052,87
20	2,41	1,83	1,10	3200	1049,67
40	2,45	1,82	0,98	3000	1043,29

Waktu (Menit)	pH	Besi Terlarut (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)
60	2,36	1,80	0,91	2600	1040,10
90	2,31	1,78	0,82	1400	1036,91
120	2,35	1,77	0,84	1000	1027,34
180	2,24	1,52	0,70	800	1014,58
240	2,27	1,28	0,62	600	1005,01

j. Fenton Rasio Molar 1:20 pH 3

Waktu (Menit)	pH	Besi Terlarut (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)
0	3,00	1,71	1,09	3400	1052,87
20	2,22	1,71	1,10	3200	1049,67
40	2,18	1,70	1,07	2600	1043,29
60	2,24	1,69	1,05	2400	1040,10
90	2,23	1,68	1,00	1400	1036,91
120	2,18	1,68	0,90	1200	1033,72
180	2,17	1,45	0,81	1000	1030,53
240	2,15	1,23	0,68	800	1024,15

k. Fenton Rasio Molar 1:1 pH 4

Waktu (Menit)	pH	Besi Terlarut (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)
0	4,00	2,95	1,08	3000	1052,87
20	3,97	2,83	0,99	2400	1046,48
40	3,95	2,70	0,96	2000	1043,29
60	3,86	2,58	0,94	1800	1040,10
90	3,88	2,46	0,89	1400	1033,72

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
120	3,74	2,52	0,89	1000	1024,15
180	3,60	2,29	0,81	400	1011,39
240	3,57	1,50	0,74	200	998,63

l. Fenton Rasio Molar 1:5 pH 4

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	4,00	2,81	1,09	3000	1052,87
20	3,97	2,68	1,10	2400	1049,67
40	3,95	2,54	1,07	2200	1043,29
60	3,86	2,41	1,05	1600	1036,91
90	3,88	2,27	1,00	1200	1030,53
120	3,74	2,19	0,90	1000	1027,34
180	3,60	1,95	0,81	800	1014,58
240	3,57	1,34	0,68	200	1005,01

m. Fenton Rasio Molar 1:10 pH 4

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	4,00	2,25	1,16	3000	1052,87
20	3,97	2,23	1,10	2600	1049,67
40	3,95	2,20	0,98	2200	1043,29
60	3,86	2,18	0,91	2000	1040,10
90	3,88	2,16	0,82	1400	1036,91
120	3,74	2,14	0,84	1000	1033,72
180	3,60	1,72	0,70	600	1030,53

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
240	3,57	1,30	0,62	400	1017,77

n. Fenton Rasio Molar 1:15 pH 4

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	4,00	1,85	1,08	3000	1052,87
20	3,97	1,83	0,99	2600	1049,67
40	3,95	1,82	0,96	2400	1040,10
60	3,86	1,80	0,94	1800	1036,91
90	3,88	1,78	0,89	1400	1033,72
120	3,74	1,77	0,89	800	1030,53
180	3,60	1,52	0,81	600	1027,34
240	3,57	1,28	0,74	400	1020,96

o. Fenton Rasio Molar 1:20 pH 4

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>pH</b>	<b>Besi Terlarut (mg/L)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>
0	4,00	1,71	1,00	3000	1052,87
20	3,97	1,71	0,90	2800	1049,67
40	3,95	1,70	0,86	2600	1046,48
60	3,86	1,69	0,79	1400	1043,29
90	3,88	1,68	0,64	1200	1040,10
120	3,74	1,68	0,49	1000	1036,91
180	3,60	1,45	0,38	800	1033,72
240	3,57	1,23	0,34	600	1027,34

p. BOD<sub>5</sub> /COD Fenton

pH	Rasio Molar [Fe <sup>2+</sup> ] : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>				
	1:1	1:5	1:10	1:15	1:20
<b>Asli</b>	0,41	0,40	0,31	0,30	0,29
<b>3</b>	0,39	0,36	0,36	0,32	0,31
<b>4</b>	0,41	0,39	0,35	0,33	0,32

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## Lampiran 6 Rekapitulasi Data Proses Netralisasi

### A. Tanpa Penambahan NaCl

#### a. Netralisasi Residu Fenton pH Asli

Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
1:1	0	0,693	0,073
	20	0,678	0,067
	40	0,668	0,055
	60	0,644	0,061
	80	0,649	0,037
	100	0,639	0,031
	120	0,629	0,018
1:5	0	0,605	0,079
	20	0,595	0,079
	40	0,585	0,049
	60	0,580	0,031
	80	0,576	0,018
	100	0,541	0,006
	120	0,532	0,000
1:10	0	0,571	0,153
	20	0,566	0,140
	40	0,556	0,110
	60	0,551	0,092
	80	0,546	0,079
	100	0,532	0,061
	120	0,522	0,055
1:15	0	0,566	0,159
	20	0,556	0,134
	40	0,546	0,116
	60	0,532	0,110
	80	0,527	0,110

Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
	100	0,517	0,098
	120	0,502	0,092
1:20	0	0,551	0,183
	20	0,546	0,171
	40	0,532	0,171
	60	0,517	0,153
	80	0,512	0,140
	100	0,502	0,116
	120	0,492	0,110

b. Netralisasi Residu Fenton pH 3

Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
1:1	0	0,742	0,134
	20	0,727	0,128
	40	0,717	0,116
	60	0,708	0,098
	80	0,698	0,085
	100	0,688	0,092
	120	0,673	0,079
1:5	0	0,732	0,146
	20	0,722	0,128
	40	0,717	0,098
	60	0,698	0,092
	80	0,683	0,079
	100	0,678	0,085
	120	0,673	0,073
1:10	0	0,742	0,146
	20	0,717	0,140
	40	0,717	0,122



Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
	60	0,708	0,128
	80	0,688	0,110
	100	0,688	0,092
	120	0,678	0,085
1:15	0	0,747	0,183
	20	0,737	0,171
	40	0,732	0,177
	60	0,722	0,159
	80	0,712	0,146
	100	0,698	0,140
	120	0,683	0,116
1:20	0	0,732	0,189
	20	0,737	0,189
	40	0,727	0,177
	60	0,722	0,171
	80	0,708	0,159
	100	0,688	0,146
	120	0,673	0,128

c. Netralisasi Residu Fenton pH 4

Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
1:1	0	0,732	0,140
	20	0,727	0,128
	40	0,722	0,110
	60	0,717	0,098
	80	0,708	0,085
	100	0,698	0,104
	120	0,683	0,092
1:5	0	0,717	0,153

Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
	20	0,727	0,134
	40	0,722	0,110
	60	0,708	0,110
	80	0,698	0,104
	100	0,693	0,098
	120	0,688	0,085
1:10	0	0,722	0,153
	20	0,712	0,146
	40	0,703	0,140
	60	0,698	0,128
	80	0,688	0,085
	100	0,683	0,104
	120	0,673	0,092
1:15	0	0,712	0,183
	20	0,703	0,171
	40	0,688	0,177
	60	0,678	0,159
	80	0,668	0,146
	100	0,673	0,140
	120	0,664	0,116
1:20	0	0,688	0,189
	20	0,703	0,171
	40	0,688	0,177
	60	0,664	0,171
	80	0,668	0,146
	100	0,659	0,128
	120	0,654	0,116

B. Dengan Penambahan NaCl 1 gram

a. Netralisasi Residu Fenton pH Asli

Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
1:1	0	0,791	0,079
	20	0,781	0,079
	40	0,747	0,049
	60	0,742	0,031
	80	0,732	0,018
	100	0,708	0,006
	120	0,693	0,000
1:5	0	0,781	0,159
	20	0,771	0,134
	40	0,761	0,116
	60	0,737	0,110
	80	0,727	0,110
	100	0,693	0,098
	120	0,688	0,092
1:10	0	0,693	0,187
	20	0,678	0,181
	40	0,673	0,181
	60	0,664	0,163
	80	0,654	0,150
	100	0,639	0,136
	120	0,629	0,101
1:15	0	0,574	0,198
	20	0,544	0,185
	40	0,536	0,173
	60	0,541	0,167
	80	0,527	0,144
	100	0,526	0,123

Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
	120	0,522	0,111
1:20	0	0,542	0,225
	20	0,538	0,221
	40	0,532	0,210
	60	0,522	0,204
	80	0,517	0,200
	100	0,502	0,117
	120	0,492	0,105

b. Netralisasi Residu Fenton pH 3

Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
1:1	0	0,782	0,124
	20	0,771	0,121
	40	0,757	0,119
	60	0,742	0,118
	80	0,693	0,109
	100	0,688	0,092
	120	0,664	0,089
1:5	0	0,781	0,159
	20	0,772	0,128
	40	0,758	0,116
	60	0,770	0,110
	80	0,683	0,098
	100	0,668	0,085
	120	0,643	0,085
1:10	0	0,761	0,146
	20	0,737	0,140
	40	0,717	0,122
	60	0,708	0,128

Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
	80	0,698	0,110
	100	0,668	0,092
	120	0,678	0,085
1:15	0	0,747	0,210
	20	0,737	0,200
	40	0,742	0,196
	60	0,722	0,187
	80	0,722	0,164
	100	0,698	0,140
	120	0,693	0,126
1:20	0	0,678	0,215
	20	0,664	0,192
	40	0,673	0,200
	60	0,664	0,191
	80	0,654	0,189
	100	0,574	0,156
	120	0,573	0,148

c. Netralisasi Residu Fenton pH 4

Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
1:1	0	0,760	0,136
	20	0,737	0,128
	40	0,729	0,119
	60	0,717	0,118
	80	0,705	0,110
	100	0,698	0,104
	120	0,683	0,085
1:5	0	0,755	0,163
	20	0,758	0,144

Rasio	Waktu	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)
	40	0,737	0,130
	60	0,708	0,120
	80	0,698	0,110
	100	0,683	0,098
	120	0,688	0,095
1:10	0	0,732	0,165
	20	0,712	0,146
	40	0,703	0,140
	60	0,698	0,128
	80	0,688	0,085
	100	0,683	0,104
	120	0,673	0,092
1:15	0	0,721	0,180
	20	0,703	0,171
	40	0,688	0,177
	60	0,678	0,159
	80	0,668	0,146
	100	0,673	0,140
	120	0,664	0,116
1:20	0	0,688	0,189
	20	0,703	0,171
	40	0,688	0,177
	60	0,664	0,171
	80	0,668	0,146
	100	0,659	0,128
	120	0,654	0,116

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Isna Nufussilma Tamas, lahir pada tanggal 04 September 1995 di Kota Purworejo serta merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis mengenyam pendidikan dasar di SDN Ngupasan Purworejo pada tahun 2001 hingga 2006, kemudian dilanjutkan di SMPN 2 Purworejo pada tahun 2006 hingga 2009. Adapun pendidikan tingkat atas dilalui di SMAN 1 Purworejo pada tahun 2009 hingga 2012. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan

Perencanaan, ITS, Surabaya pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3313 100 023.

Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan. Semasa kuliah, penulis terdaftar sebagai pengurus aktif Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS, Surabaya. Penulis menjabat sebagai Staff Keprofesian KESMA HMTL periode kepengurusan 2014-2015 dan sebagai Kepala Bidang Keprofesian KESMA HMTL pada periode kepengurusan 2015-2016. Berbagai pelatihan serta seminar di bidang teknik lingkungan juga telah diikuti dalam rangka pengembangan diri. Pada Tahun 2016, penulis melaksanakan Kerja Praktik di BPPT Serpong dibidang pengelolaan limbah B3. Penulis dapat dihubungi via email [silmatamas95@gmail.com](mailto:silmatamas95@gmail.com).

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**